

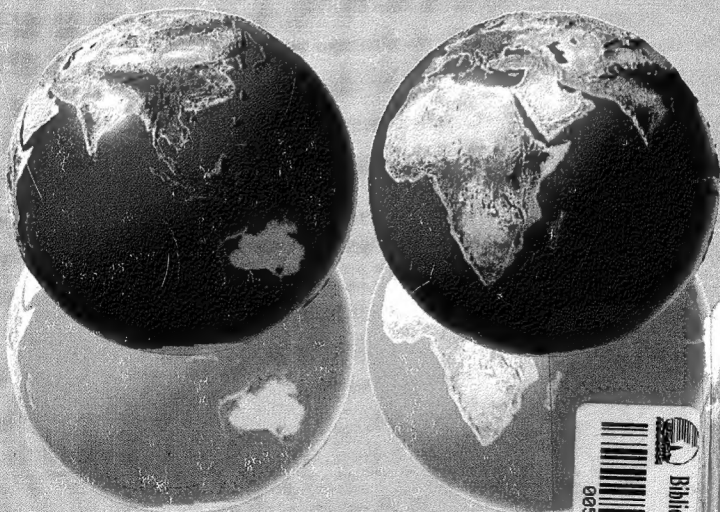
مهرجان القراءة للجميع

الأعمال العلمية

مكتبة
الأسرة
1999

الأرض الكوكب

ترجمة: د. علي ناصف



الهيئة المصرية العامة للكتاب



الأرض الكوكب

ترجمة : د. علي ناصف



مهرجان القراءة للجميع ٩٩

مكتبة الأسرة

برعاية السيدة سوزان مبارك

(سلسلة الأعمال العلمية)

الأرض الكوكب

ترجمة : د. على ناصف

الجهات المشاركة:

جمعية الرعاية المتكاملة المركزية

وزارة الثقافة

وزارة الإعلام

وزارة التعليم

وزارة التنمية الريفيه

المجلس الأعلى للشباب والرياضة

التنفيذ : هيئة الكتاب

الغلاف

والإشراف الفني:

الفنان: محمود الهندي

المشرف العام:

د. سمير سرحان

على سبيل التقديم

وتمضى قافلة «مكتبة الأسرة» طموحة منتصرة كل عام، وها هي تصدر لعامها السادس على التوالى برعاية كريمة من السيدة سوزان مبارك تحمل دائماً كل ما يثرى الفكر والوجدان ... عام جديد ودورة جديدة واستمرار لإصدار روائع أعمال المعرفة الإنسانية العربية والعالمية فى تسع سلاسل فكرية وعلمية وإبداعية ودينية ومكتبة خاصة بالشباب. تطبع فى ملايين النسخ الذى يتلفها شبابنا صباح كل يوم .. ومشروع جيل تقوده السيدة العظيمة سوزان مبارك التى تعمل ليل نهار من أجل مصر الأجل والأروع والأعظم.

د. سمير سرحان

مقدمة

الكواكب أشياء مألوفة لنا الى حد كبير . فشمسنا تجمع حولها تسعة كواكب على الأقل . ويبدو ان كثيرا غيرها من النجوم تشرق بنورها على مجموعات متشابهة من التوابع . وهذا الكتاب يعالج موضوع كوكب نعرفه أكثر من غيره ، ويحتمل ان يكون الكوكب الوحيد الذى سيمكن لجيئنا الحالى ان يستكشفه بنفسه ويكشف أسراره .

ومما يسعدنا اننا مشرفون على انماء معلوماتنا عن الارض الى حد كبير . ففي الوقت الذى يعد فيه هذا الكتاب للطبع . يقوم علماء ثمان وثلاثين دولة بتنفيذ برامج طموحة مبتكرة بمناسبة السنة الجيوفيزيائية العالمية ، وسوف ينجز هؤلاء العلماء آلاف من المشاهدات والقياسات المختلفة في كل أنحاء العالم خلال هذه «السنة» التى تستغرق ثمانية عشر شهرا (من يوليو سنة ١٩٥٧ الى ديسمبر ١٩٥٨) ومن ثم ، فسوف يمكنهم ، بعد سنوات قليلة من دراسة نتائج مشاهداتهم وتفسيراتها ، الاجابة على عديد من الاسئلة الاساسية والعملية فيما يخص بالأرض ، باطنها وقشرتها ، مائها وهوائها ، والكونيات المحيطة بها . وهذا الكتاب يعرض صورة شاملة لما نعلمه الآن ونحن على أبواب هذا المشروع العلمى البالغ الاهمية .

وقد تنمى السنة الجيوفيزيائية العالمية مبلغ تفهم كل منا للآخر . فسوف تكون محكا عمليا للتعاون الدولى الثمر ، اذ ستطلب الكثير من التنظيمات التى تكفل اجرا الارصاد في اوقات واحدة .

لا تتفاوت بأكثر من جزء من الألف من الثانية فيما بين مراكز الرصد المتناثرة على أبعاد شاسعة على سطح الأرض في مختلف أقطار العالم . وسوف تجرى هذه الأرصاد في « أيام عالية » مجددة أو معلومة . وعلى جميع مراكز الرصد الاستجابة فورا إلى نداء يوجه إليها في أيام عالية أخرى معينة وذلك للاستفادة من ظروف الاضطرابات الشمسية أو من العواصف الكهرومغناطيسية التي تحدث في طبقات الجو العليا . وفي خلال سلسلة طويلة من المؤتمرات المنعقدة في الأعوام المنصرمة ، عني العلماء بتوحيد مستوى دقة أجهزتهم في كل مكان ، و بإعداد هذه الأجهزة للعمل بدبذبة موحدة . هذا النوع من التعاون الوثيق مألوف لدى أعضاء المجتمع العلمي الدولي ، وسوف يجذب نشاطهم خلال السنة الجيوفيزيائية الدولية اهتمام « زملائهم » ، فيجدون فيهم مضربا لمثل طيب للتعاون العلمي .

هذا الكتاب موجه أساسا إلى هؤلاء « الزملاء » ممن لا يشغلون بالعلوم المتصلة بالأرض . فهو نتاج تعاون فريد بين العلماء الذين كتبوا أجزاء الأربعة عشر ومحررى « المجلة الأمريكية العلمية » ، حيث نشرت هذه الأجزاء كمقالات خلال الأعوام الماضية . وبتجميعها في كتاب واحد تتكامل لكل موضوع منها عناصره المختلفة . وهذه المقالات مجمعة تصور مستوى معلوماتنا في علم الفيزياء الأرضية ، الأمر الذى لا يتوفر في أى كتاب آخر .

يعالج علم الفيزياء الأرضية صفات الأرض ، مأخوذة على نطاق واسع ، وهى إلى حد كبير صفات كوكبية عامة ، لا تتميز الأرض بها عن غيرها من الكواكب والنجوم . وكما سيوضح في أجزاء هذا الكتاب ، يضح اعتبار هذا الكوكب مجموعة من طبقات كرية متحدة المركز ، الكرة الصخرية ، وتشمل النواة والغلاف والقشرة الأرضية ،

والغلاف المائى ، ويشمل المحيطات وجبال الجليد والقمم الناجية ، ثم الغلاف الجوى للأرض وبإعلاء طبقة الأيونوسفير وما بعدها من طبقات لا تزال رهن الاستكشاف قوامها جسيمات مشحونة . وتنساب خلال كل من هذه الطبقات أنواع متعائلة أو متشابهة من القوى ، والمد ، والتيارات ، وتشابك كل منها في حركاتها مع غيرها بين الطبقة والآخرى . وفي هذه النظرة المستوعبة سوف لا تعرض

للفلاف الحيوى ، ونعنى به الطبقة الرقيقة من المادة العضوية حيث تقوم الحياة ويسجل التاريخ .

بناقش الفصل الاول من هذا الكتاب كيف نشأت الارض . وتشير نظرية « سحابة الغبار » الواسعة الانتشار الى ان الارض تكونت من زمن . يقارب زمن تكون الشمس أثناء تكاثف سحابة ضخمة من المواد النجمية الناقصة التكوين . وتتفق أبحاث يورى وآخرين من علماء الكيمياء الأرضية في موضوع «أصل الأرض» مع مشاهدات المتخصصين في رصد الزلازل والهزات الأرضية ، على أن القشرة الصخرية والطبقة الغلافية من تحتها تحيطان نواة معدنية لدنة بباطن الأرض . وكما يبين ك . ا . بولين فان السيسموجراف (جهاز تسجيل الذبذبات الأرضية) الذى يرسم ذبذبات القشرة الأرضية ، يدل على أن النواة في حد ذاتها تتكون من طبقات كرية متحدة المركز . أما القسم الثانى من الكتاب عن أصل حرارة الأرض والمجال المغنطيسى للأرض ، فمادته أكثر تأملا وتخيلا وحدا .

ومن المدهش أن ما يتجمع الآن من معلومات تفصيلية متزايدة عن شكل الأرض الحقيقى تمدنا بدليل هام على حقيقة الأحداث والقوى التى تتفاعل داخل الأرض . فدراسات الجاذبية التى يقوم بها وايكو . ا . هايسكان تشير الى أن شكل الأرض لا يعدو كرة شوهتها الضغوط كما أنها مفرطحة عند القطبين . وهذه الفكرة العامة تنفق مع ما يصفه والتر ه . بوتشر من وجود منخفضات ومرتفعات في صخور الأساس تحت المحيطات والقارات . ويؤكد روبرت ل .

فيشر وروجر ريفيل في فصلهما عن أخاديد المحيط الهادى الحصول على نفس النتائج فيما يتعلق بطوبوغرافية قاع المحيط . ويمدنا عدم انتظام شكل الأرض ، وما يعتري هذا الشكل من تغير مستمر بتفسير معقول لديناميكية بناء الجبال ، الامر الذى يتفسق والتخمينات الواردة بالقسم الثانى عن باطن الأرض .

ويعتبر توزيع المياه على سطح الأرض من العوامل الهامة في راحة حالة الاتزان والاستقرار بالنسبة للقشرة الأرضية . وتغطى المناطق الجليدية الشمالية ومنطقة جرينلاند والجبال الثلجية من

سطح الأرض كمية من المياه المتجمدة يبلغ عمقها مائة قدم ، وهى اذا ذابت وتدفقت الى المحيطات ، كفيلا بأن تفرق معظم مدن العالم الكبرى . وتحرف أسطح القارات نتيجة لحركة هذه الثلوج أثناء تقدمها أو تفتحها . بيد ان الثلوج تشكل نسبة ضئيلة من الغلاف المائى ، فالمحيطات التى تحوى ٩٥ ٪ من مياه الأرض تغطى ثلثي مساحة سطح الكرة الأرضية تقريبا . ومن قديم الأزمان استغل البحارة معرفتهم لحركة التيارات ودوراتها فى المحيطات . وإلى عهد قريب لم تكن ندرك ادراكا شاملا مشوعبا الفكرة المنطوية تحت دورات المحيطات كما وصفها ولتر . ه . منك . وهذه الدورات شبيهة بالدورات الجوية اذ انها تتحرك بنفس القوى المنبثقة من حرارة الشمس ومن دوران الأرض .

ويعطينا هارى ويكسلر نموذجا تفصيليا للدورات الجوية التى تعم أرجاء الأرض ويزداد هذا النموذج وضوحا على مر الأيام ، ويعتبر أساسا دائم التحسن للتنبؤ الجوى الطويل المدى . وتستأثر حالة الطقس فى طبقات الجو السفلى باهتمام الانسان ، وهى وثيقة الارتباط بما يحدث فى طبقة الأيونوسفير فى طبقات الجو العليا . فالعواصف التى تطرأ على هذه الطبقات المتأينة تؤثر تأثيرا مباشرا على حياة الانسان بقطعها مواصلاته اللاسلكية . وشرح ت . ن . جوتييه كيف أن فن اللاسلكى بدوره قد مكن الانسان من ادراك ما يجرى عند هذه الارتفاعات الشاهقة ادراكا مفصلا .

ففى طبقة الأيونوسفير تتفاعل القوى الواقعة فى الحيز الكونى المجاور للغلاف الجوى ، وهى تلك القوى التى يمكن مشاهدة آثارها فى ظاهرة الوهج القطبى والوميض الجوى الخافت اللذين يصفهما س.ت. الفى وفرانكلين أ . روش . ويتناول ل.ر.أ. ستورى الكلام عن ظاهرة الصفير وهى أداة أخرى من أدوات استكشاف هذه المنطقة . وتتبع هذه الاشارات بواسطة أجهزتها اللاسلكية ، يمكننا رسم صورة للمجال المغنطيسى للأرض فى أعماق الفضاء البعيد .

ولكى يمكن للأجهزة تسجيل المشاهدات عند حافة الفضاء

الخارجي تسجيلا مباشرا ، يتوقع العلماء الامريكيون والسوفييت
أن يرسلوا أقمارا صناعية تتخذ مداراتها حول الأرض . ويصف
هومر ١ . نيوبيل الجهود الخارقة في مفسملر الصواريخ وهندسة
الاجهزة ، تلك الجهود التي ستجعل تحقيق هذه الامنية غير بعيد
المنال .

المحررون

* * *

هيئة التحرير :

جيرارد بيل (الناشر) ، ونيس فلاناجان (رئيس التحرير)
ليون سغرسكي (مدير التحرير) ، جيمس ر . نيومان ، ا.ن.
روز نبلوم ، جيمس جرينبلوم (مدير القسم الفني) .

نشأة الأرض وتكوينها

أصل الارض

بقلم هارولد ك. يورى

هارولد ك. يورى عالم من أشهر علماء أمريكا البارزين ، شخصية من أقوى الشخصيات في مجتمعا العلمى . وهو استاذ الكيمياء بمعهد « أريكوفيرى » للدراسات النووية بجامعة شيكاغو . حصل على درجة البكالوريوس من جامعة مونتانا ١٩١٧ ، وعلى درجة الدكتوراه في الكيمياء من جامعة كاليفورنيا عام ١٩٢٢ ، وقضى بعد ذلك عاما في كوبنهاجن برفقة العالم العظيم نيلز بوهر (Neils Bohr) . وبشر يورى بعد ذلك بمعلوماته الخارقة في الفيزياء والكيمياء النووية عمله التاريخى في فصل الديوتيريوم وهو احد النظائر الثقيلة للأيدروجين . وفي عام ١٩٣٢ نال على هذا العمل العظيم جائزة نوبل . وكان يورى من القادة الذين لا غنى لأمريكا عنهم في محاولتها العلمية الضخمة لإنتاج القنبلة الذرية خلال الحرب العالمية الثانية . وبعد ذلك عاد يورى الى أبحاثه الأصلية . وتصفح مساهمته في هذا الكتاب عن تشعب إنتاجه واتساعه في السنوات الأخيرة ، وهو إنتاج بعيد عن اللون الهنسى وعن صناعة الأسلحة ، وليس فيه ما هو « مقصور » أو « محدود » أو « سرى » .

أصل الأرض

بقلم

هارولد ك. بوري

يحتمل أن يكون الانسان منذ وهب عقلا مفكرا قد بدأ يتصور ويحدث كيف امتدت الأرض ، وماذا يسكنها أن تقع ، وما هي طبيعة الشمس والقمر والنجوم ، من أين أتت كلها ، وكيف بدأت ، وما الى ذلك من الامور . وقد سجل الانسان تصورات هذه في كتابات دينية . ويعتبر الفصل الاول من سفر الكون مثالا شاعريا جميلا لها . ظلت هذه الكتب قرونا عديدة جزءا من ثقافتنا ، حتى أن كثيرا منا قد غاب عنه أن بعض أجدادنا الاولين كانت لهم آراء محدودة عن الأرض والمجموعة الشمسية ، وهي آراء مقبولة لدينا الآن قبولاً تاماً .

كان ارستارخاس (Aristarchus) من جزيرة ايجه التابعة لساموس أول من اقترح ان الارض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس . عارض الفلكيون هذا الرأي الى أن أيده كوبرنيكاس (Copernicus) بعد ذلك بألفى عام . وكان

اليونانيون يعرفون شكل الارض وحجمها على وجه التقريب ، كما كانوا يعرفون سبب كسوف الشمس . وبعد كوبرنيكاس راقب الفلكي الهولاندى تايكو براهي (Tycho Brahe) تحركات كوكب المريخ من مرصده بجزيرة هافن الواقعة ببحر البلطيق . ومن هذه المشاهدات استطاع جوهانز كبلر (Johannes Kepler) أن يبين أن المريخ والأرض وغيرهما من الكواكب تدور كل منها حول الشمس في مدار على شكل قطع ناقص . وبعد أن وضع العالم العظيم اسحق نيوتن (Isaac Newton) قانون الجاذبية العام وقوانين الحركة ، أمكن استنباط وصف دقيق للمجموعة الشمسية بأكملها . وقد شغل هذا الامر أذهان كبار العلماء والرياضيين في القرون التي تلت ذلك .

ومن سوء الطالع ، أن وصف مصدر المجموعة الشمسية أمر يفوق كثيرا في صعوبته وصف تحركات أجزاء هذه المجموعة . فالمواد التي توجد الآن بالأرض وبالشمس لا بد وأنها تختلف في حالتها عما كانت توجد عليه عند بدء نشأتها . ويتطلب فهم الكيفية التي تجمعت بها هذه المواد اللامم بكثير من فروع العلوم الحديثة كالنظرية الجزيئية للغازات ، والديناميكا الحرارية ، والنشاط الاشعاعي ، ونظرية الكم . ومن ثم فليس مستغربا ألا يحزر المشتغلون بعلم الارض قدما ملموسا حتى مطلع القرن العشرين .

ومنذ ستين عاما افترض السيرجورج داروين (Sir George Darwin) أن القمر قد انفصل أصلا عن الارض من المكان المعروف الآن لدينا بالمحيط الهادى ، وهذا الافتراض يسود عند الكثير من الثقة . غير أن ف . ر . مولتون (F. R. Moulton) بعد دراسته في

شيء من العنق امتتج استحالته . وفي عام ١٩١٧ أعاد هارولد جيفريز (Harold Jeffreys) دراسة نفس الافتراض ، وأشار الى أنه بتأثير قوى المد ، يمكن أن يكون القمر قد انفصل عن الأرض وهي في حالة منصهرة . وعلى كل ، ففي عام ١٩٣١ تناول جيفريز الموضوع من جديد واستتج استحالة وقوع هذا الامر . ومنذ ذلك الوقت يشاركه هذا الرأي معظم الفلكيين .

ومع أن مولتون وجيفريز أوضحا أن انفصال القمر عن الأرض أمر بعيد الاحتمال ، الا أنهما وضعا نظريات للمجموعة الشمسية تتضمن أن الأرض وغيرها من الكواكب كانت قد انفصلت أصلا عن الشمس . وقد اقترحا ، هما وجيمس جينز (James Jeans) ت . س . تشمبرلين (T. C. Chamberlin) أن الكواكب قد تكونت من تراكم المواد المتناثرة الناجمة عن مرور نجم بالقرب من الشمس أو تصادمه بها . وهذه الفكرة عن نشأة كواكب المجموعة الشمسية لا تزال يعتنقها الكثيرون حتى الآن .

وتدل الشواهد التي نحصل عليها بالمنظارات الفلكية الكبيرة . على أن معظم النجوم تتكون في مجموعات من نجمين أو ثلاثة أو أربعة نجوم . وقد أمكن تحديد وزن النجوم المركبة بتطبيق قوانين نيوتن للحركة وقانونه العام للجاذبية . كما أمكن معرفة سرعة هذه النجوم وذلك بدراسة التغيرات المميزة التي تطرأ على طيفها أو بالقياس الفعلي لحركتها بالنسبة للنجوم القريبة . وقد وجد أنه يندر أن تتساوى كتلتا النجمين في المجموعة الثنائية ، وأن النسبة بين كتلتيهما تتغير تغيرا كبيرا . واستتج جيرارد ب كويبر (Gerard P. Kuiper) بجامعة شيكاغو أن عدد النجوم الثنائية لا يتوقف إطلاقا على النسبة بين كتلة أحد النجمين وكتلة

النجم الآخر ، وبعبارة أخرى ، فإن احتمال وجود نسبة معينة بين كتلتى نجمين أكثر من وجود نسبة أخرى احتمال ضئيل جدا .
ويبدو في الواقع أن فرصة وجود ازدواج تكون كتلة أحد نجميه $\frac{1}{100}$ من كتلة النجم الآخر ، هي نفس فرصة وجود ازدواج تكون نسبة الكتلتين لنجميه $\frac{1}{100}$.

وطبيعى أن يكون من العسير مشاهدة ازدواج نسبة كتلة نجمه الثانوى الى كتلة النجم الاولى هي $\frac{1}{100}$ ، وخاصة اذا كان هذا النجم الثانوى غير مضى . وإذا اعتبرنا الشمس وأكبر كواكبها ، وهو المشتري ، نجما مزدوجا . فكتلة المشتري تقدر بجزء من ألف من كتلة الشمس ، وهو يضيء فقط بضوء الشمس المنعكس عليه وأن المشتري لا يرى حتى من أقرب النجوم اليه وهناك من الدلائل الكثيرة ما تشير الى أن وجود النجوم المزدوجة ، مثل الشمس والمشتري ، أمر عادى في المجرة . وتشير نفس الاعتبارات الى احتمال وجود ما يقرب من ١٠٠ مليون مجموعة شمسية . وشيوع وجود هذه المجموعات الشمسية على هذا النطاق الواسع ينفي احتمال وجودها كنتيجة لتصادم بين نجمين .

ومنذ سنوات عديدة ، لاحظ أ . أ . برنارد (E. E. Bernard) بمرصد « يركس » وجود بقع سوداء أمام الفيوم السديمية المنتشرة في المجرة . وقام بارت ج . بوك (Bart J. Bok) بجامعة هارفارد بفحص هذه الكرات الصغيرة المعتمة من الفبار والغاز ، ووجد بوك أن كتلتها تناهز كتلة الشمس ، وأن قطرها يقارب المسافة بين الشمس وأقرب النجوم اليها . وقد أوضح لي مان

سبتر (Lyman Spitzer) بجامعة برنستون انه اذا وجلت بالفضاء كئل كبرة من الفبار والغاز فان ضوء النجوم القرية منها كقل بأن يدفعا تجاه بعضها البعض ومن ثم تتجمع جسيمات الفبار وتضغط ضغطا كافيا يتيج الفرصة لقوة الجاذبية المسيطرة على الكئلة بأجمعها وعند ذلك يصبح الضغط والحرارة بداخلها كافيين لبدء التفاعلات الحرارية النووية للنجم .

ويبدو معقولا أنه اذا تكون نجم الشمس نتيجة عملية من هذا النوع ، فقد تبقى مادة تكفى لبناء باقى المجموعة الشمسية . فاذا كانت العملية أكثر تعقيدا ، فقد يؤدى هذا الى تكوين نجمين بدلا من نجم واحد . فاذا اشتد تعقيد العملية فقد تنجم عنها مجموعة من ثلاثة نجوم أو أربعة . هذا القبيل من النظريات مقبول لدينا الآن أكثر من الافتراضات القائلة بأن الكواكب قد انفصلت بطريقة ما عن الشمس بعد أن تم تكوينها . وفي رأى أن الافتراضات القديمة لم تكن مقنعة ، لانها حاولت تعليل مصدر الكواكب وأهملت تعليل مصدر الشمس ذاتها . وعندما نحاول أن نحدد كيف تكونت الشمس ، فائنا ندرك على الفور كيف أن المواد التى تشتمل عليها الكواكب الآن هى من مخلفات مادة الشمس .

ان أى نظرية تفسر أصل المجموعة الشمسية ، يجب أن تتضمن دليل ما نشاهده من كمية الحركة الزاوية للشمس فى دورانها حول نفسها وللکواكب فى دورانها حول الشمس . وتقدر كمية الحركة الزاوية لای كوكب بحاصل ضرب كتلته \times سرعته \times بعده عن الشمس . وللکوكب المشترى أكبر قسط من كمية الحركة الزاوية فى المجموعة الشمسية ، أما نصيب الشمس نفسها فيعادل فقط ٢٪ من كمية حركة المجموعة . الأمر الآخر الذى لابد من اعتباره

عند مناقشة أى نظرية هو ما يسمى بقانون « تيتس - بود » (Titus-Bod Law) ، الذى يبين بطريقة رياضية مبسطة كيف تناسب أبعاد الكواكب عن الشمس : فالكواكب القريبة من الشمس متقاربة كل من الأخرى ، والكواكب البعيدة عن الشمس متباعدة كل عن الأخرى ، على أن هذا القانون تقريبى ولا ينطبق على واقع الامر بدقة ، وقد لا يستحق كل الاهتمام الذى أوليناه اياه . وفى دراستى للموضوع بحثت عن أدلة أخرى تتعلق بأصل المجموعة الشمسية .

منذ حوالي خمسة عشر عاما ، أشار كل من هنرى نوريس راسل (Henry Norris Russel) بجامعة برنتون ودونالد هـ . مينزل (Donald H. Menzel) بجامعة هارفارد الى وجود علاقة مذهلة بين نسب العناصر فى جو الأرض ونسبها فى أجواء النجوم بما فيها الشمس ، فمن الجدير بالملاحظة أن عنصر النيون الغاز الذى نستخدمه فى العلامات الضوئية نادر الوجود فى جو الأرض ، لكنه كثير الانتشار نسبيا فى أجواء النجوم . واستنتج راسل ومينزل أن النيون ، وهو العنصر الذى لا يكون مركبات كيميائية ، تسرب من الأرض وهى ساخنة فى فترة مبكرة من تاريخها ، وتسرب معه كل الماء والمواد المتطايرة التى كان الجو يتألف منها فى ذلك الوقت . ويفترض راسل ومينزل أن المحيطات والجو الموجود حاليا تكونت بتسرب الأوزون والكربون والماء من جوف الأرض . وكذلك يفترض استاذ الفيزياء الالماني كـ . فـ فون فايتسزيكار (C. F. Von Weizsäcker) أن غاز الارجون الموجود بالهواء قد نشأ غالبا من تحلل البوتاسيوم المشع خلال الاحقاب الجيولوجية ، وأنه تسرب من باطن الأرض . كذلك أشار

ف . و . آستون (F. W. Aston) بجامعة كمبردج الى أن الغازين
الناقلين الآخرين الكريبتون والزينون قد تسربا من الأرض .

بمثل هذه الأفكار عن تسرب العناصر الكيميائية المتطايرة من
سطح الأرض ، بدأت دراستي الخاصة عن أصل الأرض . وعلى
وجه التحديد ، كيف ومتى تسربت هذه العناصر من الأرض ؟

والنتيجة التي خلصت إليها هي أنه من المستحيل أن تكون
هذه العناصر قد تسربت من الأرض بعد تمام تكوينها ، فتطايرها
لا بد أن يكون قد حدث في تاريخ مبكر ، إذ أن جاذبية الأرض
بعد تمام تكوينها تحول دون تسرب الغازات المتطايرة الى الفضاء .
ولكن إذا كانت هذه الغازات قد تسربت من الأرض قبل تمام
تكوينها فما هو مصدر الغازات التي نجدها اليوم على سطح
الأرض ؟ فالماء ، على سبيل المثال ، كان حرياً أن يتسرب مع النيون ،
ولكنه الآن يملأ المحيطات . ويبدو أن الجواب على ذلك هو أن
من الخواص الكيميائية للماء أنه لا يكون مركبات متطايرة عند
درجات الحرارة المنخفضة .

وعلى هذا ، فإن الأرض إذا كانت في أي وقت مضى أبرد
مما هي عليه الآن فلعلها كانت قد احتفظت في باطنها ببعض مائها ،
وأن يكون هذا الماء قد انبثق فيما بعد الى سطحها . ولكن النيازك
تحتوي على جرافيت وكرييد الحديد ، وهذان يحتاج تكوينهما
الى درجة حرارة عالية . فإذا افترضنا أن الأرض والكواكب
الآخرى كانت باردة فكيف تم هذا التفاعل الكيميائي ؟

كيف إذن تكونت الأرض والكواكب ؟ ان أحدا منا لم يكن

حاضرا وقتذاك ، وأى افتراض أسوقه لا يسهل اعتباره ممثلا للحقيقة المؤكدة . وغاية ما يمكن عمله في هذا الصدد هو أن نحدد نهجا ممكنا لتسلسل الحوادث ، بحيث لا يتعارض هذا النهج والقوانين الطبيعية والحقائق المشاهدة . ولا يمكننا حاليا أن نستنبط بطريقة رياضية بحة التاريخ الدقيق الذى بدأ بكرات انبار . ولما كان ذلك أمرا متعذرا علينا ، فإنه لا يسعنا أن ننهج نهجا قاطعا في قبول أو استبعاد الخطوات المفترضة لتفسير نشأة الكواكب وتطورها . ومع كل ، فقد يمكننا أن نبين أى الخطوات أكثر احتمالا ، وأنها بعيدة الاحتمال .

يعتقد كوبر أن الكتلة الأصلية للغبار والغاز قد اقسمت الى جزء تكونت منه الشمس وأجزاء أخرى تكونت منها الكواكب ، المشترى وزحل بغازاتها بما في ذلك الغازين الخفيفين الايدروجين ووقعت الاوائل من الكواكب المسماة بالارضية وهى عطارد والزهرة والارض والمريخ غازاتها ، واحتفظ الكوكبان العملاقان بالهيليوم . أما الكوكبان أورافوس ونبتون فقد فقدوا جزءا كبيرا من غازات الايدروجين والهيليوم والميثان والنيون ، ولكنهما احتفظا بالماء والنوشار والمواد الاقل تطايرا . ويتفق كل ذلك مع الكثافة العالية للكواكب .

ويبدو من المؤكد الى حد معقول أن الماء والنوشار والمواد الهيدروكربونية مثل الميثان ، قد تكاثفت الى حالة صلبة أو سائلة في أجزائها من هذه الكواكب الأولى . ولا بد أن يكون الغبار قد تخرق في عواصف جليدية انتشرت في مساحات تناهز المساحات الواقعة الآن بين الكواكب . وبعد مدة تكونت أجرام ضخمة مركبة

من الماء والنواشادر والمواد الهيدروكربونية والحديد أو أكسيد الحديد . ولا بد أن بعض هذه الأجرام كان يضارع القمر حجما ، وقد يكون القمر قد نشأ بهذه الطريقة . وتجمع جرم كبير في حجم القمر لابد وأن تولد عنه حرارة كافية لتبخير مواده المتطايرة . أما الأجرام الأصغر حجما فهي حرة أن تحتفظ بهذه المواد . ولا شك أن معظم الأجرام الصغيرة قد اندمجت في الأجرام الكبيرة . وقد يكون « ديموس » « وفوبوس » ، قمر المريخ ، هما الباقيان من بين هذه الأجرام الصغيرة .

ولابد أن كتلا ضخمة من الحديد قد تكونت أيضا . فبالقرب من الحافة الشمالية للقمر يوجد سهل كبير يعرف بحر «أميريام» ، تحيط به جبال تتخللها أخاديد عميقة طويلة ، وقد يبدو أن الجزء يأجمعه قد اتخذ هذا الشكل نتيجة سقوط جسم قد يبلغ قطره ستين ميلا . وأول من افترض ذلك هو العالم الجيولوجي الأمريكي ج.ك. جيلبرت (G. K. Gilbert) في عام ١٨٩٣ ، وتبعه في هذا الرأي مؤخرا غيره من العلماء . وتقع بقعة التصادم جنوب « سينوس إيريدوم » . ويستدل من توزيع الأخاديد والروابي حول مركز قرص القمر على أن الجسم المصطدم جاء من جهة «سينوس إيريدوم» وأحدث هذا خليجا عند بقعة التصادم العميقة فاشرا أجزاء من مادته على سطح القمر . وتبلغ المسافة بين نقطتي « سينوس إيريدوم » ١٤٠ ميلا وذلك يدعم تقدير قطر الجسم بستين ميلا . ولا بد أن تكون الأخاديد قد نشأت بفعل مواد غاية في الصلابة أشبه ببيكة من الحديد والنيكل وكانت مستقرة بداخل هذا الجسم . وبطبيعة الحال لا تزال بعض الاجسام الحديدية طافية في الفضاء الواقع بين الكواكب ، يهوى بعدها

فيصطدم بعضها بالأرض بين الحين والآخر ، وتعرف بالنيازك .

كيف تكونت مثل هذه الاجسام المعدنية من سحابة الغبار الدقيق الاصلية ؟ بالاضافة الى الغبار تشتمل الكويكبات على كميات ضخمة من الغاز ، معظمه من الايدروجين . وقد افترضت ان الضغط الواقع على الغازات التي تحتويها الكويكبات المتقلصة ، يولد حرارة عالية كفيلة بصهر السليكات ، وهي المركبات التي تؤلف اليوم جزءا كبيرا من القشرة الصخرية للكرة الارضية . وتقوم نفس الحرارة العالية ، في وجود الايدروجين ، باختزال أكسيد الحديد الى عنصر الحديد ، فيرسب الحديد المنصهر ، متخللا بالسليكات ، ومتجمعا في برك كبيرة .

هذا الافتراض غير مقنع ، اذ أنه من الضروري أن نعرف الطريقة التي فقدت بها الأرض بعض مادتها الصخرية ، وذلك بالمقارنة بحديدها المعدني الكثيف . وهذا الامر أكثر ضرورة في حالة الكوكب عطارد الذي لا بد أن يحتوى على كمية من الحديد تراوح ما بين ٦٠٪ ، ٧٠٪ من مادته ، والواقع أن الكواكب الارضية تختلف عموما في تركيبها ، فمثلا يحتوى عطارد على أكبر نسبة من معدن الحديد المرتفع الكثافة ، وتقل هذه النسبة في حالة الأرض والزهرة ، وتقل أكثر في المريخ ، وتصبح ضئيلة جدا أو منعدمة في القمر . وليس من اليسير أن نفترض حلا معقولا يفسر لنا ميكانيكية تبخر المواد الصخرية التي لاتتطاير وكيفية انفصالها عن هذه الكواكب . وليس من المعقول أن نفترض أن الكوكب في بدء نشأته أمكنه الاحتفاظ بجزيئات الايدروجين الخفيفة جدا ، في الوقت الذي فقد جسيمات السليكات الكبيرة جدا ، ولاتحدث سوى تغيرات طفيفة فيما يحيط به من أحوال وظروف خارجية .

ومما يزيد الامر تعقيدا أن عناصر أخرى تعتبر طيارة الى حد ما ، مثل الزئبق والزرنيخ ، موجودة في الارض وفي النيازك . والعمليّة ، أيّا كانت طبيعتها قد تتج عنها فقد بعض المواد التي لا تتطاير وبقاء مواد أخرى بعضها سهل التطاير .

ويسهل حل الموضوع اذا ثبت أن الشمس في الطور الملائم من تاريخ المجموعة الشمسية اشتدت اضاءتها اشتدادا كبيرا جدا لفترة وجيزة من الزمن جردت في أثنائها الكواكب الناشئة وقشذ والمجموعة الشمسية نفسها من كل الغازات ، وكذلك من مقادير مناسبة من صخور السيليكات المتبخرة . واذا كان هذا التوهج قد حدث لفترة قصيرة من الزمن فإن ذلك كفيلا بأن يتبخر الجزء الخارجى من الكواكب ذات الاحجام الكبيرة بينما يظل باطنها باردا محتفظا بالنسبة الصحيحة لعناصره . ويمكن أن يحدث شيء من هذا القبيل لنجم جديد عندما يبدد طاقة جاذبيته في احراق ما يحمله من الايدروجين البدائي الثقيل محولا اياه الى هليوم .

ويبدو لنا الآن أن النيازك كانت في وقت ما أجزاء من كواكب صغيرة تتحرك حول الشمس بين مدارى المريخ والمشتري . وركيب هذه الاجسام جدير بالملاحظة . فبعض النيازك الحديدية تحتوى على نوعين من سبائك الحديد والنيكل . تحتوى احدهما على ٦ الى ٧٪ من النيكل ، وتحتوى الاخرى على أكثر من ١٥٪ من هذا المعدن . وترتيب هاتين السبائكيتين احدهما بالنسبة للاخرى داخل النيزك المعدني يتم عن نمط يدل على أنهما تكونتا بالتبلور البطيء . ولابد أن يكون الحديد قد انصهر ثم يرد ببطء ، وأن عملية التبلور قد تمت بين درجتى ٣٠٠° ، ٥٠٠° مئوية . ومعظم النيازك صخرية أكثر منها معدنية . وأغلبها من نوع يسمى

بالكوندرينات (Chondrites) وهذه عبارة عن خليط أجزاء من المعادن المتبلورة ، وأجزاء أخرى من كل من نوعي سبيكتي الحديد والنيكل . وتحتوى الكوندرينات على أجسام عجبية تسمى الكوندرولات (Chondrules) وهي ذات مظهر زجاجي ، ومستديرة الشكل أو أحيانا كروية تقريبا . ولا بد أن تكون قد تجمدت أثناء سقوطها تحت تأثير الجاذبية الأرضية دون عائق . والواضح أن الكوندرينات عبارة عن خليط يحتوى على مواد معدنية تكونت في مكان آخر قبل تجمعها في الخليط . ومن أنواع النيازك الصخرية الأكثر ندرة ما يعرف باسم الأكوندرينات (Achondrites) وهي لا تحتوى على كوندرولات ، ولكنها على أى الحالات عبارة عن خليط متكامل .

. ويدل تركيب النيازك على أنها تكونت بعد سلسلة من العمليات على النحو الآتى : بعد أن صهرت المادة الأولية اختزل أوكسيد الحديد الى عنصر الحديد ، وفصل الحديد المصهور عن السيليكات بتأثير مجال الجاذبية ، ثم بعد ذلك تكونت بلورات السيليكات ومبائك الحديد والنيكل خلال التبريد البطيء . ولكى ينشأ مجال لقوة الجاذبية ذو أثر فعال لابد وأن يكون حجم الجسم الذى تمت فيه هذه العمليات حجما ملائما ، يبلغ قطره ٦٠ ميلا أو أكثر . ونتيجة لتصادمات عنيفة ، تحطمت هذه الاجسام وتكونت الكوندرولات وأجزاء البللورات وقطع المعدن ، وتجمعت هذه فيما بعد مؤلفة الكوندرينات .

ويمكن الاستدلال على تاريخ وقوع هذه العمليات بثلاث طرق مختلفة باستخدام المواد المشعة . وتعتمد الطريقة الأولى على انحلال عنصر الراديوم وتحوله الى عنصر الرصاص . وتحدد هذه

الوسيلة التاريخ الذي انفصلت فيه النيازك الصخرية والمعدنية بعملية الانصهار ، وقد استدل على أنه يرجع الى ٥٤ بليون عام مضت . وتعتمد الطريقة الثانية على تحول عنصر الروبيديوم الى أحد نظائره عنصر الاسترونشيوم ، وتدل هذه الطريقة أيضا على أنه قد مضى ٥٤ بليون عام على انفصال عنصر الاسترونشيوم عن الروبيديوم الموجودين بالنيزك ، وذلك أيضا خلال عملية انصهار . وتعتمد الطريقة الثالثة على تولد عنصر الأرجون من أحد نظائره عنصر البوتاسيوم ، وذلك في النيازك الكوندرتية ، وهذه الطريقة تحدد الزمن الذي مضى على تسرب غاز الأرجون بالتسخين بمدة لا تتجاوز ٤٣ بليون عام . والخطأ الممكن في هذه التقديرات الثلاثة يميز اعتبار هذه الفترات متساوية . وعلى هذا يمكننا أن نقول أن النيازك قد تكونت منذ حوالي ٥٤ بليون عام ، وكان تكوينها خلال فترة تبلغ بضع مئات الملايين من الاعوام أو أقل من ذلك . وواضح انها تكونت أثناء تكون المجموعة الشمسية .

ويظن كوبر أن الغازات قد تسربت من الكواكب الأولى بتأثير الاشعاع الشمسي خلال حوالي مائة مليون عام . وإذا كانت المواد التي تجمعت فكونت الأرض أو التي كانت الاصل في مادة النيازك قد تعرضت للتسخين هذه المدة الطويلة لكأن حرارة أن تنفذ بعض أجزائها السريعة التطاير . ولكن بعض المواد المتطايرة مثل الزرنيخ توجد بالأرض بل وبالنيازك أيضا . وتلك الحقائق يسهل تفسيرها إذا افترضنا أن ما حدث هو عملية تسخين سريعة ، أملاحت بالغازات وبجزء من السليكات المتطايرة الموجودة بالكواكب الأولى . والراجح أن عملية من هذا القبيل قد اتخذت سبلها ، وأكسبت المجموعة الشمسية الحديثة بعضا من خفياها

التي تكشف عن تاريخها القديم ، مثل النيازك ، و سطح القمر ، وربما قمرى المريخ .

ومنذ عهد قريب ، أعيد تقدير كثافة القمر والكواكب المختلفة . وفيما يلي بعض هذه الكثافات ، مقدرة عند ضغط منخفض . عطارد : ٥ ، الزهرة : ٤٤ ، الأرض : ٤٤ ، المريخ : ٣٩٦ ، القمر : ٣٣١ . ومن الأفضل أن يفسر اختلاف الكثافة هنا على أنه اختلاف في نسبة تواجد الحديد في هذه الكواكب ، وأن يتم هذا بدوره عن اختلاف كمية السليكات المتبخرة من كل منها . وواضح أن الكوكب الذي فقد كثيرا من سليكاته تزداد نسبة الحديد فيه عنها في الكوكب الذي فقد كمية أقل من السليكات .

ويجمع كل العلماء تقريبا على أن الأرض كانت كلها منصهرة عند تكونها ، وأن الحديد قد غاص إلى مركز الكرة الأرضية في ذلك الوقت . هذه الفكرة سائدة وراسخة رسوخ القصص الشعبية ، ومثلها في ذلك فكرة انشطار الأرض عن الشمس ، وانشطار القمر عن الأرض . فهل بدأت الأرض حقا سائلة ؟ ان ن . ل . بوين (N. L. Bowen) وغيره من علماء الجيولوجيا قد صرحوا في مؤتمر الاكاديمية الاهلية للعلوم الذي عقد في رانشو سانتا في يناير عام ١٩٥٠ ان هذا الاحتمال يساوره الشك . وعللوا ذلك بأن الأرض لو كانت في مبدئها سائلة لترتب على ذلك وجود قدر من السليكات في أجزائها الخارجية أكبر مما نجده الآن .

ويرجع تاريخ نظرية الأرض السائلة الى كلفن (Kelvin) الذي لم يجد تفسيراً لحرارة البراكين غير أنها جزء من الحرارة البدائية للأرض . وباكتشاف النشاط الاشعاعى كمصدر آخر للحرارة ،

لم يعد تفسير كلفن أمرا محتملا . غير أنه لا يمكننا أيضا استبعاد إمكانية أن الأرض أصلا مرتفعة الحرارة بسبب طاقة الجاذبية الناجمة عن تكونها عن طريق التجمع والتراكم أو بسبب الحرارة المتولدة عن النشاط الإشعاعي . فإذا كانت فترة تكونها قد استغرقت مدة تقل عن خمسة ملايين من السنين تقريبا ، كان ذلك كفيلا بصهرها في طور نشأتها . أما إذا تطلبت العملية فترة أطول كثيرا من هذه ، تكونت الأرض عند درجة حرارة منخفضة ؛ رغبا عن الارتفاعات المؤقتة في درجة الحرارة ، الناتجة عن تساقط العناصر الكوكبية الصلبة طيلة هذه الفترة .

وإذا كانت كمية النشاط الإشعاعي في المواد المتراكمة كبيرة إلى درجة كافية ، فإنها تصهر الأرض الصلبة نفسها . وقد اقترح هذا التعليل لتفسير كيف بدأت الأرض في حالة منصهرة . وحتى الآن ، لم تحدد بعد كمية العناصر المشعة في الأرض وفي غيرها من الأجرام الكوكبية والنيازك تحديدا دقيقا .

ولكن الكميات الموجودة تقارب الكميات الخارجة اللازمة لانتماء عملية الانصهار . وقد كان هذا الموضوع محورا لبعض الجدل والمعارضة . أما رأيي الشخصي فلم يصل بعد إلى مرتبة اليقين .

وهناك دليل آخر . فالمریخ ، الذي يجب أن يماثل الأرض من بعض الوجوه ، يحتوى وزنا على حوالى ٣٠٪ من الحديد والنيكل ، ومع ذلك فنحن نعلم ، بوسائل فلكية ، أن التركيب الكيميائي للمریخ تركيب متجانس في كل أجزائه تقريبا . فإذا كان هذا صحيحا ، فانه ينبغي أن المریخ كان في الأصل منصهرا . وتدل

الندبات المشاهدة على سطح القمر على أن سبائك الحديد والنيكل كانت تتساقط عليه في نهاية مرحلة تكوينه . ونفس السبائك كانت تتساقط على الأرض أيضا ، إلا أنها كانت تبخر بفعل الطاقة المتولدة من اصطدامها بجسم يكبرها كثيرا . ومع ذلك ، فلو لم تكن الأرض منصهرة في ذلك الوقت ، لأمكن العثور على بعض من سبائك النيكل والحديد في طبقات الأرض القريبة من السطح .

وإذا كانت طبقة الغلاف من الأرض تحتوى على الحديد ، فلفعل هذا الحديد يتحرك متسربا نحو مركز الأرض ، وتحركه على هذا النحو يغير من عزم القصور الذاتى للأرض . ويمكن أن نعرف عزم القصور الذاتى بأنه مجموع حاصل ضرب الكتلة عند كل نقطة من جسم الأرض \times مربع بعد هذه النقطة عن محور دوران الأرض . فإذا كان الحديد يتحرك نحو مركز الأرض ، فإن هذه الكمية سوف تتناقص ومن الخصائص الميكانيكية أنه إذا قل عزم القصور الذاتى للجسم الذى يدور فإن سرعة دورانه تزداد . ومن ثم ، إذا كانت سرعة دوران الأرض في تزايد ، فإن طول اليوم يتناقص .

وأنا لنعلم أن وحدة الزمن عندنا في تفيير مستمر ، ولكنها تزايد ولاتناقص . أى أن سرعة دوران الأرض تتناقص ولاتزايد . وتدل المشاهدات الفلكية الدقيقة ، والتي يرجع بعضها الى رصد كسوفات وقعت منذ ٢٥٠٠ عاما ، على أن طول اليوم يتزايد بمعدل $\frac{1}{100000}$ أو $\frac{1}{10000}$ من الثانية كل قرن . وكان من المعتقد أن التزايد في طول اليوم ناجم عن احتكاك المد الذى تسببه الشمس والقمر . ولكن اذا حاولنا التنبؤ بالتغيرات في الوضع الظاهري

للقمر على أساس هذا المؤثر فحسب ، لوجدنا اختلافا بين حسابنا وبين الحقيقة المشاهدة . ومن جهة أخرى ، اذا افترضنا أن الحديد يتحرك نحو مركز الأرض ، لكان من شأن التغير في عزم القصور الذاتي أن يؤثر في طول اليوم كما بينت . والواقع ، انه لو وضعنا في اعتبارنا كلا العاملين ، عامل المد وعامل التغير في عزم القصور الذاتي ، لاتفقت حساباتنا مع مشاهداتنا .

ولكى تتفق حساباتنا ، لابد أن نسلم بأن ٥٠٠٠٠ طن من انحديد تسرب من الغلاف الى نواة الأرض في كل ثانية . وبهذا المعدل يكون الفترة اللازمة لتكون النواة المعدنية للأرض هي ٥٠٠ مليون عام . وتشير بعض الحسابات الى أن العملية قد تستغرق ٢ بليون عام . والمهم في الموضوع أن هذه الفترة الزمنية تناهز في الدرجة عمر الأرض ، والمقدر لها على وجه العموم ٥ رء بليون عام . وإذا كان هذا التعليل صحيحا ، فإن الأرض تكون قد وجدت أصلا وبأجزائها الخارجية بعض الحديد ، كما لعلها كانت منصهرة تماما .

وقد تتعقد الامور حينما يبرهن لنا والتر هـ . منك وروجر ريفيل بمعهد . سكرييس لعلوم البحار أن من المحتمل أن يكون عزم القصور الذاتي للأرض في تناقص بسبب انتقال مياه المحيطات في بطء الى القمم الثلجية في جرينلاند والمنطقة المتجمدة الجنوبية وأن هذه العملية يمكن أن تستمر تزايد طول اليوم دون افتراض تحرك الحديد نحو مركز الأرض ، على الأقل ليس بالمعدل الذي توصلت اليه وذكرته من قبل ، وعلى ضوء هذا الرأي لمنك وريفيل لا يكون لدينا في الواقع دليل على تحرك الحديد نحو مركز الأرض

ومع كل ، فدللنا على الرأى المضاد نذر سير . والأمسر لا يزال
مفتقرا الى مشاهدات وأرصاء جديدة .

والآن نعاود فى اختصار سرد تسلسل الحوادث الممكنة .
امتدت سحابة ضخمة من الغبار والغاز فى مكان خال فى المجرة
وتعرضت هذه للضغط الناشئ عن ضوء النجوم . وبعد ذلك
تزايدت سرعة عملية التراكم بتأثير قوى الجاذبية ، وبطريقة ما ، ولم
تنضح لنا بعد ، ثم تكونت الشمس ، فأشعت ضوءا وحرارة بالقدر
الذى تشعه اليوم . وتولدت دوامات مضطربة من سحابة الغبار
والغاز الهائلة حول الشمس ، ومن هذه نشأت بداية الكواكب
الحالية واحدة لكل كوكب ، وربما واحدة أيضا لكل من المخلقات
الواقعة بين المريخ والمشتري . عند هذه المرحلة من العملية ، تم
تراكم الاجسام الكوكبية الكبيرة بواسطة تكاثف الماء والنوادر .
ومن بين هذه تميز الجسم الاساسى للقمر ، وآخر أكبر لكوكب
الارض . وكانت درجة حرارة هذه الاجسام منخفضة فى بادىء
أمرها ، الا أنها ارتفعت فيما بعد لدرجة تصهر الحديد . وفى مرحلة
البرودة تراكمت المياه فى هذه الاجسام . وفى المرحلة الساخنة التى
يمكن غزوها الى ارتفاع كبير مؤقت فى درجة حرارة الشمس ،
احتيجز الفحم على صورة جرافيت ، أو مركبات كربونية . وعندئذ
تسربت الغازات واتحدت الكويكبات بفعل التصادم .

على هذا النحو ، ربما تكونت الارض .

ولكن ماذا حدث منذ ذلك الحين ؟ لقد حدثت بالطبع أمور
كثيرة ، ومن بينها نشأة الهواء الجوى وتطوره . والرجح أن
الارض ، بعد أن اكتمل تكوينها واستوت حسبما صليا ، كان يلفها

جو من بخار الماء والازوت والميثان وبعض الايدروجين وكميات ضئيلة من غازات أخرى .

أدلى ج . هـ . ج . بول (J. H. J. Poole) بجامعة دبلن باقتراحه الاساسى أن تسرب الايدروجين من الارض أدى الى وجود الجو المؤكسد . وما يحتويه الميثان (ك ا) والنوشادر (ن ا م) من الايدروجين قد يكون قد تسرب ببطء مخلقا الازوت وثانى أكسيد الكربون والماء وغاز الاوكسجين . وأنا اعتقد أن هذا هو ما حدث غير أن ظهور الاوكسجين لابد أن يكون قد سبقه ظهور كثير من الجزيئات الاخرى المحتوية على الايدروجين والكربون والازوت والاوكسجين . واخيرا دبت الحياة على سطح الارض ، كما بدأت عملية التمثيل الضوئى الاساسية ، التى تمكن النباتات من تحويل ثانى أكسيد الكربون والماء الى مواد غذائية وأوكسجين ثم بدأ تطور الهواء المؤكسد كما نعرفه اليوم . وحتى اليوم ، لا يزال التطور الطبيعى والكيميائى للارض وجوها مستمرا .

* * *

الكرة الصخرية السنوات والغلاف

الجزء الأول : باطن الأرض

بقلم : د. ١٠٠ بولين

بعد ان اتم بولين دراسته الجامعية وتخصص في علم الرياضة بموطنه اوكلاند بنيوزيلاند ، اتجه الى دراسة الفيزياء الارضية عام ١٩٢١ متأثرا بمعلمين : الاول هو زلزال خليج هود الذي وقع في شهر فبراير من ذلك العام ، ويعتبر اكبر كارثة اصابته بنيوزيلاند ، والثاني هو سفره في بعثة الى جامعة كامبردج ، حيث التقى بالعالم السيسولوجي الكبير السير هارولد جفري . وبعد عامين ونصف عام عاد بولين الى اوكلاند وقد تخصص في علم السيسولوجيا . ولا يزال يباشر عمله منذ عام ١٩٢٦ استلذا بجامعة سيدني باستراليا .

الجزء الثاني : حرارة الأرض

بقلم : ١٠١ بنفيلد

تخرج بنفيلد من معهد « ماساتشوستس » للعلوم التطبيقية عام ١٩٢٤ ثم سافر الى جامعة كامبردج حيث حصل على درجة الدكتوراه في علم الفيزياء الارضية . واشتغل فترة بالتدريس بكلية وليامز ، ثم ادى واجبه العسكري اثناء الحرب بمحصل

الاشعة التابع لمعهد ماساشوسيتس ، وعين بعد ذلك بجامعة
هارفارد حيث يشغل الآن وظيفة استاذ مساعد كما يقوم بالاشراف
على العمل الكهربائي بقسم العلوم التطبيقية .

الجزء الثالث : حرارة الأرض

بقلم : س . هـ رانكون

يشغل رانكون منصب المدير المساعد للابحاث بقسم المساحة
والفيزياء الأرضية بجامعة كامبردج ، وهو زميل بكلية « جونفيل
وكلايبس » . وقد بدأ اهتمامه بعلم الفيزياء الأرضية أثناء عمله
مع ب . م . س بلاكيت (P.M.S. Blackett) بجامعة
مانشستر حيث حصل على درجة الدكتوراه . ويوجه رانكون
نشاطه واهتمامه الحاليين الى دراسة مغناطيسية الصخور ، وقد
فحص هطول الصيف في الأعوام النصفية جامعا عينات الصخور
من سهول كولورادو ليستعين بها في دراساته لتعدد اعدادها من
والبحر خصائصها المغناطيسية .

باطن الأرض

بقلم

د. ١٠ بولس

تهتز الأرض بتأثير ما يربو على عشرة زلازل كبرى في كل عام . والطاقة المنبعثة من أقل هذه الزلازل شدة تناهز الطاقة المنبعثة من ألف قبلة ذرية . وتقدر طاقة زلزال اسام في أغسطس عام ١٩٥٠ بما يقرب من مائة مليون قبلة ذرية . وتتفوق الموجات الصادرة عن هذه الهزات خلال باطن الأرض بأجمعه بما في ذلك نواة الأرض فتتخذ مسارات منحنية وتشكل حسب ما تخترقه من طبقات . وعلى هذا فإن موجات الزلازل تحكى لنا بعضا من طبيعة الأرض التي تخترقها ، وعندما تستقبلها محطاتنا السيسمولوجية على سطح الأرض ، يمكننا ان نترجم ما تحكيه الى صورة نستخلصها عن باطن الأرض ، وكأننى بالعالم السيسمولوجى وهو يعنى النظر فيما سجلته أجهزته فى الظلام خلال قطعة من الزجاج ، انما يكشف عن باطن الأرض بجهاز أشعة سينية .

وقد ظفر علم السيسمولوجيا بمعلوماتنا عن باطن الأرض من

طور التصورات المتخيلة الى طور القياسات العلمية والاستنتاجات
المبنية على أسس سليمة . ويرتبط هذا العلم بمعلوماتنا الجيولوجية
عن الصخور السطحية ، وبالتجارب العملية التي تجرى في المعامل
على الصخور عند الضغوط العالية ، وبعض مشاهدات فلكية
معينة ، وبذلك يمكننا أن نضع أساسا لفهم الحالات المتنوعة السائدة
عند الأغوار العميقة ، طبقاتها الممتدة ، وموادها ، وخصائصها
الطبيعية ، والضغوط وما الى ذلك .

وتعتبر دراسة الزلازل من العلوم الحديثة . ففي عام ١٧٥٠
نشرت مجلة Philosophical Transactions التي تصدرها جمعية
لندن الملكية ، مقالا لاحد الكتاب في هذا الموضوع يعتذر فيه
كاتبه الى « هؤلاء الذين تضايقهم أية محاولة لتفسير الزلازل
تفسيراً طبيعياً » . غير ان هذا لم يمنع تراكم مشاهداتنا عن تأثير
الزلازل ، بحيث برز علم السيسمولوجيا في أواخر القرن التاسع
عشر كعلم كمي حقيقي ، عندما أنشأ جون ميلن (John Milne)
الانجليزى في اليابان جهازاً لتسجيل الذبذبات الارضية
(السيسموجراف) ، يصلح للاستعمال على نطاق عالمي . وقد
أدخلت بعد ذلك تعديلات على هذا الجهاز ، يرجع الفضل فيها على
الاخص الى أ . فيشارت (E. Wiechert) بألمانيا والامير جاليتزين
(Prince Galitzin) في روسيا ، وحديثاً هوجوبنيوف (Hugo
Benioff) بمعهد كاليفورنيا للعلوم التطبيقية .

ان انطلاق طاقة الاجهاد المرن (elastic-strain energy)
عند المصدر أو « بؤرة » ، الزلزال ، يولد موجات تنتشر في جميع
الاتجاهات يادئة من البؤرة . وفي عام ١٨٩٧ ميز العالم البريطاني

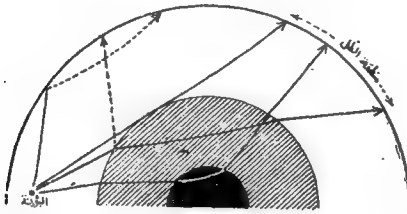
ر.د. أولدهام (R. D. Oldham) في الخرائط السيسمولوجية أنواعا ثلاثة من الموجات السيسمولوجية : (١) الموجات الأولية ، وهي عبارة عن أمواج تداخلية وتضاغطية كأمواج الصوت و(٢) الموجات الثانوية وهذه تتذبذب عمودية على اتجاه انتقال الأمواج ، مثلها في ذلك مثل أمواج الضوء و (٣) الموجات السطحية التي تظهر قرب السطح في طبقة سمكها حوالي ٢٠ ميلا . وتنتقل الموجات الأولية خلال أجزاء الأرض الصلبة والسائلة ، بينما تنتقل الموجات الثانوية خلال الطبقات الصلبة فقط .

وتبلغ سرعة انطلاق الموجات الثانوية ثلثي انطلاق الموجات الأولية . وتغير كلتا السرعتين بتغير عمقهما في الأرض . فأقصى سرعة لانتقال الموجات الأولية مثلا هي ٨.٥ ميل في الثانية وذلك على عمق ١٨٠٠ ميل ، وتهبط هذه السرعة الى ثلاثة أميال في الثانية في الصخور القريبة من الأرض . وبسبب تغير السرعة ، يميل مسار هذه الأمواج الى الانحناء الى أعلى . فعند ما تقابل الموجات سطحاً يفصل طبقة عن أخرى تنعكس هذه الموجات أو تنكسر ، وعند ما تصل الى القشرة السطحية تنعكس ثانية الى أسفل . وعند سطح الانفصال بين طبقتين تنشأ عن كل من الموجات الأولية أو الموجات الثانوية موجات أخرى أولية وثانوية . ومن ثم ، فإن أى تسجيل سيسولوجي لزلازل معين قد يبين لنا بوضوح أطواراً تميز مراحل انتقال الموجات ، والتغيرات التي طرأت على أشكالها .

بهذا الأسلوب من الاستدلال أثبت أولدهام في عام ١٩٠٦ أن للأرض نواة ضخمة تقع بداخلها وتتحد معها في المركز ، كما أمكن بينوجوتنبرج (Benot Gutenberg) في عام ١٩١٤ أن يحدد

موضع سطح هذه النواة على عمق ١٨٠٠ ميل تحت سطح الارض .
 وكان جوتنبرج في هذا الوقت في ألمانيا . وبما أن نصف قطر
 الارض يبلغ حوالى ٣٩٠٠ ميل ، فإن نصف قطر النواة يبلغ حوالى
 ٢١٦٠ ميلا .

كان اكتشاف نواة الارض نتيجة لرصد ما يسمى « بمناطق
 الظل » حيث يقل نسبيا ما يسجل من الموجات الأولية . ولنعتبر
 موجات أولية صادرة من زلزال كبير تقع بؤرته عند القطب
 الجنوبي . هذه الموجات يمكن رصدها في النصف الجنوبي من



شكل (١)

تعرف موجات الزلزال وتنعكس وهي في طريقها من مصدرها . وتمثل
 الخطوط الكاملة الموجات الابتدائية . كما تمثل الخطوط المتقطعة الموجات
 الثانوية الناشئة عن الانعكاس . وتنشأ منطقة الظل لاي موقع معين لبؤرة
 الزلزال من انعكاس الموجات وانكسارها عند النواة . والموجات الأولية الوحيدة
 التي يمكن أن تصل الى منطقة الظل هي تلك التي تنفذ داخل النواة وتعبر
 انحرافا حادا .

الكرة الارضية ، وأيضا في النصف الشمالي حتى درجة ١٥
 شمالا (أى عند خط عرض جواتيمالا) . ويندر الستقبال الموجات
 الأولية في المنطقة ما بين خطى عرض ١٥ شمالا ، ٥٢ شمالا ، ولذلك

تسمى بمنطقة الظل ، أما الموجات التي تستقبلها أجهزة الرصد في المنطقة ما بين خط عرض ٥٢ شمالا والقطب الشمالي فآثرها واضح جلى لشدتها . وتقع الولايات المتحدة بأكملها في منطقة الظل بالنسبة لمثل هذا الزلزال . وبالدراصة وجد أن مناطق الظل هذه مردها وجود نواة عند مركز الأرض ، حيث تنحرف الموجات الأولية الآتية من أعلى انحرافا حادا الى أسفل ، وذلك شبيه بما يحدث لموجات الضوء الصادرة من عصاة مغمورة في الماء ، إذ تنكسر هذه الموجات عند سطح الماء « انظر الشكل (١) » .

كان من بين الاعمال العظيمة التي اضطلع بها السيسمولوجيون خلال الاربعين عاما الاولى من هذا القرن أن وضعوا جداول يمكن الوثوق بها لمعرفة أوقات وصول الموجات الأولية والموجات الثانوية وهي في مختلف أوجه مساراتها . وفي عام ١٩٣٠ ، عند ما ساور السير هارولد جفرى بجامعة كمبردج الشك في وجود أخطاء كبيرة بجداول « أزمنة الوصول » الموجودة وقتئذ ، بدأ جفرى سلسلة طويلة من الدراسات لتصحيح هذه الجداول . وقد اشترك مؤلف هذا الجزء من الكتاب مع جفرى في هذا العمل من عام ١٩٣١ حتى عام ١٩٣٩ .

وجداول جفرى — بولين الموضوع عام ١٩٤٠ تستعمل الآن على نطاق دولي . وتتفق هذه الجداول اتفاقا كبيرا في أصولها مع « أزمنة الوصول » التي استنبطها في نفس الوقت تقريبا كل من جوتيرج وتشارلزف . ريشتر (Charles Richter) بمعهد كاليفورنيا للعلوم التطبيقية . وهذه الجداول ذات أهمية قصوى للتعرف على المركبات المختلفة لطبقات الأرض . وبواسطتها يمكن استنباط الأزمنة من الموجات الأولية والموجات الثانوية عند مختلف

طبقات الكرة الأرضية . وبدراسة تغير السرعة مع العمق ، يمكن لنا أن نتعرف على أعماق السطوح التي تفصل بين هذه الطبقات .

وباستخدام الجداول ، توصل جفرى بحساباته الى أن عمق اسطح الفاصل لنواة الارض لا يختلف بأكثر من ثلاثة أو أربعة أميال عن تقدير جوتنبرج له بألف وثمانمائة ميل . وقد قدر أن الجزء الخارجى على الاقل من قواة الارض منصهر ، ولذلك لا تنفذ الموجات الثانوية خلالها . وهناك أدلة أخرى على ميوعة هذا الجزء ، ومن بين هذه الأدلة البيانات عن تشوه شكل الارض الصلبة بفعل عوامل المد ، والبيانات الفلكية عن تحركات قطبى الارض . وتدل حسابات هـ . تاكوتشى (H. Takeuchi) اذ تنكسر هذه الموجات عند سطح الماء « انظر الشكل (١) » . المنطقة التي تملأها .

واستخدام التعبيرين « صلب » و « مائع » ، مرتبطين بالضغط الهائلة والسائدة في باطن الارض يكون في بعض الاحيان موضع التساؤل . وما يقصده عالم الفيزياء الارضية بلفظ «صلب» في هذا الصدد هو أن خواص مرونة المادة التي تعنينا يمكن وصفها بمعادلات تناظر المعادلات التي تطبقها في الظروف المعتادة على المواد الصلبة العادية . وفي هذه المعادلات يرد استعمال معاملين : « معامل الانضغاطية (Incompressibility) وهو مقياس مقاومة الجسم للضغط ، ومعامل الصلابة (Rigidity) ويعبر عن مقاومة الجسم للانفعال القصي (Chearing stress) سرعة كل من الموجات الأولية والموجات الثانوية عند التعرض

للضغط ، وهذا هو السبب في أن الموجات الثانوية لا تنفذ خلال الموائع .

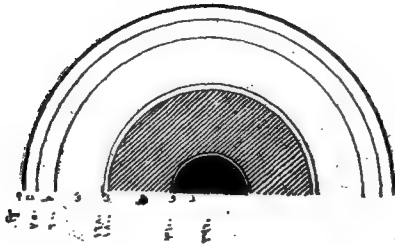
والجزء من الأرض الذي يحيط بالنواة يسمى بالغلّاف والمعروف الآن أن كل الغلاف صلب في أساسه (فيما عدا المحيطات وجيوب الحمم في المناطق البركانية) ، وتنتقل كل من الموجات الأولية والموجات الثانوية خلال كل جزء من أجزاء الغلاف ولذلك اعتبرناه صلبا . وبينما كان العالم السيمولوجي الكرواتي أ.موهوروفيتشيك (A. Mohorovicic) يدرس تسجيلا سيمولوجيا لزلزال حدث في البلقان عام ١٩٠٩ اكتشف وجود سطح انفصال هام ، واقع على عمق ٢٠ ميلا تحت سطح الأرض . وقد سمي باسمه وهو السطح الفاصل بين طبقة الغلاف والقشرة الأرضية ، ولو أن تعبير « القشرة الأرضية » يحمل الآن معنى اصطلاحيا وتشير الأدلة السيمولوجية الى أن القشرة ليست أكثر صلابة من المادة التي تقع أسفلها مباشرة .

ومن الناحية السيمولوجية ، تختلف القشرة عن الجزء الذي يليها من الغلاف في سرعة انتقال الموجات الأولية والثانوية فيها أقل منها في هذا الجزء ، كما أن هذه السرعة أكثر تغيرا في القشرة . وعدم انتظام السرعة هذا يجعل التعرف على التركيبات المختلفة لطبقات القشرة أمرا عسيرا ، إلا أن العمل دائب في هذا السبيل بطرق شتى ، كدراسة الموجات السطحية ، ودراسة الموجات الأولية والثانوية المنبعثة من زلازل قريبة من محطة الرصد ، والموجات المنبعثة من الاتعجارات الكبيرة الصناعية بفعل الإنسان ، كعملية تفجير الذخيرة التي تمت في جزيرة هليجولاند عام ١٩٤٧ ، أو

باستخدام الديناميت في عمليات الرصد السيسمولوجي كما يحدث عند التنقيب عن البترول . ومن نتائج الاكتشافات الهامة أن سمك القشرة يقل كثيرا تحت المحيطات عنه تحت القارات .

وقد تم التعرف حتى الآن على سبع مناطق أو طبقات متميزة في الأرض . ففي عام ١٩٣٦ اكتشفت مس أ . ليان (Miss I. Lehmann) الدانماركية أن نواة الأرض ليست موحدة التركيب ، بل يبدو أنها تتكون من جزئين مختلفين على الأقل . وبإمعان النظر في الموجات الأولية الضئيلة نسبيا والتي نادرا ما تنبعث في منطقة الظل الواقعة على سطح الأرض ، استنتجت « ليان » احتمال وصول هذه الموجات بعد أن عانت انحرافا حادا إلى أعلى لدى مرورها في الجزء الداخلي من النواة حيث تكون سرعة انتقال الأمواج أكبر منها في الجزء الخارجي من النواة . وقد تأيد تفسيرها هذا بمشاهدات جوتنبرج وريشتار وجفري . ويقدر نصف قطر الجزء الداخلي من النواة حوالي ٨٠٠ ميل ، ويبلغ سمك الجزء الخارجي للنواة حوالي ١٣٠٠ ميل .

وقد قسم الكاتب جسم الأرض إلى سبع طبقات يرمز إليها بالاحرف أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، و ، ز تتميز فيما بينها على أساس التغيرات في الكثافة . (انظر شكل ٢) فالطبقة « أ » تمثل القشرة . وطبقة الغلاف تمثلها المناطق ب ، ج ، د ، كما أن د مقسمة إلى منطقتين فرعيتين د^١ ، د^٢ . ولا يزال هذا التقسيم في مرحلة الاختبار ، نظرا لأن تقدير معدلات التغير في السرعة لا يزال مفتقرا إلى كثير من أوجه الثبوت من صحته . ويرمز إلى الجزء الخارجي من النواة بالرمز هـ ، وإلى الجزء الداخلي بالرمز ز . وبين هاتين الطبقتين



شكل (٧)

ينقسم مقطع الأرض الى طبقات تختلف سرعة انتقال الأمواج في كل منها عن الأخرى . يبين الجزء المظلل الجزء الخارجى من النواة ، وبين الجزء الاسود الجزء الداخلى من النواة . وتوجد فوارق كبيرة في السرعة بين النواة غلاف الأرض « الطبقات ب و ح و د و هـ » ، توجد بين الجزءين الداخلى والخارجى من النواة . وتمثل الطبقة ا قشرة الأرض .

يحد جفري طبقة أخرى و ، يبلغ سمكها ٨٠ ميلا ، حيث تهبط سرعة الموجات الابتدائية فيها هبوطا كبيرا . ولو أن جوتنبرج لم يكشف عن هذه الطبقة الأخيرة الا أنه يقول أن البيانات التي حصل عليها لا تنفى احتمال وجودها .

كيف يتسنى لنا أن تقدر الضغوط والخصائص الطبيعية للمادة عند الأعماق المختلفة في جسم الأرض ؟ ان سرعات الموجات الأولية والثانوية تحددها الكثافة ومعامل الانضغاطية ومعامل انصلاية للمواد التي تخترقها الموجات ، ولكن هذه السرعات لانحدنا بالمعلومات الكافية لحل معادلات صحيحة لهذه المقادير . وعلى كل ، فهناك طرق غير مباشرة تساعد على الوصول الى تقديرات لها ، ومنها : معلوماتنا عن كتلة الأرض ، وعزم قصورها

الذاتي ، ومشاهداتنا في حقول التجارب ، وتجاربنا في المعمل على الصخور ، والنظريات الرياضية عن لزوجة والجذب التباقي .

يمثل هذه الوسائل قدر المؤلف أن كثافة الأرض تتزايد تدريجيا من ٣ر٣ جم/سم^٣ تحت القشرة مباشرة الى ٥ر٥ جم/سم^٣ عند أسفل الطبقة الغلافية . ثم ترتفع الكثافة فجأة الى ٩ر٥ جم/سم^٣ عند سطح النواة ثم تتزايد تدريجيا الى ١١ر٥ جم/سم^٣ عند قاع الطبقة الخارجية للنواة .

وقد حُصبت علاقة تزايد الضغط بزيادة العمق تحت سطح الأرض . ويبلغ الضغط عند قاع المحيط الهادى حوالى ٨٠٠ ضغطا جويا ، وعند عمق ٢٠٠ ميل فقط تحت القشرة يصل الضغط الى ١٠٠٠ر١٠٠٠ ضغطا جويا ، وهو أعلى ضغط أمكن تحقيقه في المعمل (استخدم هذا الضغط في تجاربه على الصخور يرمى و . برنجمان (Percy W. Bridgmann) بجامعة هارفارد) . وعند سطح النواة مباشرة أى على عمق ١٨٠٠ ميل يصل الضغط الى ١/١ مليون ضغطا جويا ، ويأخذ في الازدياد الى حوالى أربعة ملايين ضغطا جويا عند مركز الأرض .

والحقيقة المدهشة التى أدت اليها النتائج هى أن معامل الصلابة لمادة الأرض في الغلاف تتزايد بازدياد العمق ، الى أن يصل عند سطح قواة الأرض الى حوالى أربعة أمثال معامل صلابة معدن الصلب في الحالات العادية . وبعد ذلك ، أى في الطبقة الخارجية للنواة يهبط معامل الصلابة عمليا الى الصفر ، مما يدل على أن هذا الجزء مائع .

ولعل أكبر فائدة أدت اليها هذه السلسلة من الحسابات هى .

ما يتعلق بمعامل الانضغاطية . فالبرغم من التغيرات الحادة في الكثافة ومعامل الصلابة عند السطح القاصل بين النواة والغلاف ، فانه ، طبقا للحسابات ، لا يتغير معامل الانضغاطية كثيرا عند هذا السطح . وهذه النتائج قد حملت المؤلف على أن يدرس نظريا تأثير الضغوط العالية ، من قبيل مليون ضغط جوى فأكثر ، على المواد التي يحتمل وجودها في نواة الأرض . فاذا وضعنا في الاعتبار طائفة متنوعة من الأدلة ، لاستنتجنا امكان وضع حد لمعامل الانضغاطية للمواد الموجودة في نواة الأرض .

وباتباع هذا الأسلوب في الاستدلال ، يبدو لنا أنه من المحتمل جدا أن يكون الجزء المركزي للنواة صلبا وذلك بعكس جزئها الخارجى . هذا رأى الذى ساقه المؤلف في عام ١٩٤٦ ، والذى تطور منذ ذلك الحين ، يفسر تزايد سرعة الموجات الأولية لدى تغلغلها في الجزء المركزي للنواة . وتدل الحسابات على أن معامل مادة الجزء الداخلى للنواة يبلغ على الأقل ضعف معامل صلابة معدن الصلب عند الضغوط العادية .

وبنفس الأسلوب الاستدلالي ، نستطيع تقدير كثافة الجزء المركزي للنواة الامر الذى لم يكن ممكنا من قبل . والظاهر أن الكثافة عند مركز الأرض تقع بين $14 \frac{1}{4}$ ، ١٨ جم/سم^٣ غير أن هناك ما يشير الى أن تزايد الكثافة بازدياد العمق في الجزء الداخلى للنواة (وعند قاع الطبقة السلافية للأرض) يفوق المتوسط ، الأمر الذى يفيد ضمنا أن هناك تغيرا ما يطرأ على تركيب هذه المنطقة .

- من أى المواد تتركب الأرض عند أعماقها السحيقة ؟ لقد كان

هناك من الدلائل الواجيه ما حملنا سنين طويلا على الاعتقاد بأن جزءا كبيرا من الارض فيما تحت القشرة يتكون من صخور فوق قلبية مثل سليكات جديد المغنسيوم . ويبدو أن المنطقة ب تتكون من مادة شبيهة بمادة معدن « الاوليفين » المعروف . أما المنطقة ج فيبدو أنها منطقة انتقالية ، يتغير فيها التركيب ، ربما من أحد الاشكال الهندسية للاوليفين الى شكل آخر . وقد تتكون المنطقة د من عدة مواد معينة كالسليكا والمغنيسيا وأوكسيد الحديد . أما المنطقة د التي تحت طبقة الغلاف من أسفل فيحتمل أن تكون ذات تركيب متغير ، الا أنه لا يوجد حتى الآن اتفاق مرض عن ماهية المواد التي رسبت عند مثل هذه الاعماق .

أما تركيب النواة وهى الجزء الداخلى من الارض ، فقد كان مؤخرا محورا لكثير من الجديد والمهم من أنواع الحديث والتخمين . فقد ساد طويلا الافتراض أن معظم النواة يتربك من الحديد وسبائك الحديد والنيكل . وقد لقي هذا الفرض تأييدا من واقع نتائج تحليل النيازك التي يعتقد أنها أجزاء من كوكب متفجر شبيه بالارض . غير أن و . كون (W. Kuhn) و أ . ريتمان (A. Rittmann) بألمانيا قد وضعا فى عام ١٩٤١ نظريتهما الاساسية التي تقترض أن نواة الأرض تتكون من أيديروجين مضغوط . وصحيح أن هذه النظرية تتناقض مع بعض الاعتبارات الهامة ، الا أنها فتحت مجالا للبحث مبنا على فكرة أن المواد فى المنطقة السفلى للطبقة الغلافية للارض قد تتغير كثافتها تغيرا كبيرا وفجائيا بفعل الضغوط الكبيرة . وعلى هذا ، فقد لا يتكون الجزء الخارجى من النواة من الحديد والنيكل غير المتحدن ، بل من أنواع مرتفعة الكثافة من الصخور الموجودة خارج النواة .

تلك نظرية جدلية بحتة . واذا قورنت الاحتمالات نجد أن الادلة التي لدينا تجنح الى تفضيل فرض وسط : ألا وهو أن الجزء الخارجى للنواة يتكون من كل من الحديد غير المتحد ومن مادة أخرى أقل كثيرا في عددها الذري .

ومن المظاهر الهامة للنظرية الجديدة أنها تساعد على فبول فكرة أن كواكب المريخ والزهرة وعطارد والارض تتماثل جميعا في تركيبها الأولي العام . وقد أوضح « جفرى » أن الارض لا يمكن أن تتركب من نفس مواد الكواكب الاخرى اذا كانت مركبات نواة الارض تختلف اختلافا تاما عن تركيب غلافها وطبقا لحسابات نو. هـ . رامزى (W.H. Ramsey) البريطانى والمؤلف ، فان كتلتى كوكبى المريخ والزهرة ، وقطريهما ، وكذلك التسطح المشاهد فى كوكب المريخ ، كل هذا يمكن أن يفسر تفسيراً مقبولا اذا افترضنا هذين الكوكبين يتركبان من نفس المواد الارضية . بعد تأثرها بعامل زيادة الضغط مع العمق .

أما عن الجزء المركزى للنواة ، فيحتمل أن يكون مركبا من النيكل والحديد ، وربما كذلك من بعض المواد الأكثر كثافة .

أما تقديراتنا لدرجات الحرارة فى باطن الارض ، فنحن أقل تأكيداً منها عن تقديراتنا للضغط . ففي المناجم العميقه تزداد درجة الحرارة بمعدل ٣٠ درجة مئوية لكل ميل كلما تعمقنا فى المنجم . ولو استمرت الزيادة بهذا المعدل لزادت درجة الحرارة عن ١٠٠٠ر ١٠٠ درجة عند مركز الارض . والواقع أنه أصبح من

المؤكد عمليا أن معدل الزيادة في درجة الحرارة يقل عند الأعماق.
عن المعدل المذكور . وتدل التقديرات الحالية على أن درجة الحرارة
عند مركز الأرض لا تتجاوز ٢٠٠٠ الى ٢٥٠٠ درجة . وعلى كل ،
فالواضح جدا أن الارتفاع في الحرارة في باطن الأرض يتضاءل
كثيرا ازاء الارتفاع في الضغط .

حرارة الأرض

بقلم

أ. ن. بنغل

عند ما يفحص الطبيب مريضا فانه يهتم بمعرفة درجة حرارته .
ودرجة الحرارة ، مع غيرها من الاختبارات ، تساعد الطبيب على
تحديد ما يجري داخل جسم المريض ، وكذلك يأمل الجيوفيزيائي أن
يحصل على بعض القرائن التي تهديه الى ما يجري بداخل الأرض ،
وذلك بقياس درجة حرارتها . وطبيعى أن مهمة الجيوفيزيائي هي
في هذا الصدد أشق كثيرا من مهمة الطبيب ، لان الأرض ، بعكس
الانسان ، لا تملك منظما ذاتيا يوحد درجة حرارتها ، كما أنه
لا يمكننا أن ندخل مقياسا للحرارة الى أعماق من الجزء الخارجى
من القشرة الأرضية . وخير ما نستطيع عمله هو أن نقيس درجة
الحرارة في آبار الزيت العميقة ، وفي المناجم ، وفي أفاق السكك
الحديدية ، وغير ذلك ، وهذه جميعا لا تتعمق في القشرة السطحية
الى أكثر من بضعة آلاف قليلة من الاقدام . وأكبر عمق وصل
اليه الانسان في حفر الآبار هو أربعة أميال تقريبا . ونحن لا نعدو
الصواب اذا قلنا اننا نستمكن من الطيران الى أجواز الفضاء

الواقع بين مجموعتنا الشمسية ، والوصول الى أحد الكواكب المجاورة لنا ، وأنه سيمضى بعد ذلك وقت طويل قبل أن نهتدى الى سبيل تنفذ به الى مركز كوكبنا ، الذى يقع على عمق ٤٠٠٠ ميل .

ومع كل ، فبالرغم من ضآلة معلوماتنا عن حرارة الارض ، فانا نفيد من الضئيل الذى نعلمه . وللموضوع بالطبع أوجه الاستغالية . فننذ آلاف السنين أدرك انسان ما قبل التاريخ أن عليه ألا يقترب كثيرا من البركان النائر ، كما تعلم أن يستعمل يتايىح المياه الدافئة فى الاستحمام وفى الأغراض الطبية . وفى « ريكجافيك » عاصمة ايسلاند البركانية ، تدفأ المكاتب والمنازل الآن بمياه ساخنة طبيعية تجلبها الأنابيب من جوف الأرض . ويولى المهندسون فى أنحاء أخرى اهتماما كبيرا الى امكانية استعمال المضخات الحرارية فى تدفئة المنازل شتاء وتبريدها صيفا ، وذلك بأن تنقل تلك المضخات الحرارة من الارض الى المنازل وبالعكس . وتساعد دراسة الحرارة عند الاعماق فى التنقيب عن البترول وإنتاجه . أما فى المناجم العميقة جدا مثل مناجم الذهب بجنوب أفريقيا فإن ارتفاع الحرارة يمثل اشكالا خطيرا ، ولا بد من توفير وسائل لتخفيض درجة الحرارة تخفيضا كافيا يمكن العمال من البقاء والعمل داخل المناجم .

واهتمامنا بحرارة الأرض هو نفس اهتمام الطبيب بحرارة المريض ، اتنا نسمى لمعرفة ما يمكن أن تنبئنا به عن باطن الأرض الذى لا يمكننا أن نسير غوره بأنفسنا ، مما يمكننا من أن ندرك كيف تكونت الجبال ، وماذا يثير البراكين ، وكيف نشأ المجال المغناطيسى الأرضى ، ولماذا غورت المحيطات حيث هى الان ، وغير

ذلك من الامور المثيرة التي طالما شغلت اذهان أساتذة الفيزياء الأرضية .

والمعروف منذ سنوات عديدة أن درجة حرارة الارض ترتفع باطراد كلما تعمقنا تحت سطح الأرض . وطبيعى أن هذا لاينطبق على بضع عشرات الاقدام القليلة السطحية اذ نحس بالبرودة لدى نزولنا في أحد أيام الربيع الدافئة الى حجرة تحت سطح الارض ، حيث لا تزال الارض محتفظة ببعض برودة الشتاء السابق ، غير أنه عند أكثر من ٥٠ قدما تحت السطح يندر أن نحس بأثر التغير الموسمي في درجة الحرارة . وتحت هذا العمق ، تستمر الحرارة في الارتفاع التدريجي ، وتصل الى درجة غليان الماء عند قاع بعض آبار الزيت العميقة بكاليفورنيا وغيرها من الاماكن .

لماذا ترتفع الحرارة دائما بازدياد العمق ؟ الاجابات على هذا السؤال متعددة كما يبين ذلك هارولد يورى في الجزء الاول من هذا الكتاب . والرأى المأثور هو أن الارض نشأت جسما ساخنا ، وانها لا تزال تحتفظ في جوفها بجزء كبير من حرارتها الابتدائية . ومن السهل أن تفهم كيف يحدث هذا اذا سلمنا بأن الارض كانت جزءا من الشمس أو قطعة من كوكب ما وانفصلت عنه نتيجة اقتراب نجمين أو أكثر كل من الآخر اقترابا كبيرا . وهناك نظرية أخرى تعرف بنظرية « سحابة الغبار » ، وتنص على أن الارض تكونت نتيجة اندماج تدريجي بخليط بارد من الغبار والغازات والجسيمات الصغيرة في الفضاء الواقع بين النجوم .. والكوكب اذا نما بهذه الطريقة خليق بأن ينتهى بسطح ساخن نتيجة انصهار وتبخر الجسيمات المتساقطة عليه بسرعة عند الاصطدام به في .

مرحلة تمام نموه . وفي نفس الوقت سيكون باطن الكوكب قد سخن بسبب تضاعفه تحت ثقل المواد المتزايدة والمتراكمة على سطحه وغير ذلك من الاسباب ، غير أنه من الممكن أن يكون هذا الارتفاع في درجة حرارة باطنه غير كاف لصهره .

ومع كل ، فنحن لا يمكننا أن نتأكد من أن الأرض كانت ساخنة جدا وقت تكونها . واستنادا الى ما نشاهده من كثرة العناصر الموجودة بقشرة الأرض ، فقد وضع يورى مؤخرا نظريته القائلة باحتمال أن تكون الأرض قد تكونت عند درجة حرارة منخفضة نسبيا . ومن سبق الحوادث أن تتكهن بالاثر الذي ستحدثه هذه النظرية في آرائنا لكن من الممكن أن تنمخض مناقشة هذه النظرية عن توضيح بعض معتقداتنا عن درجة حرارة الأرض ، وماضى تاريخها ، وتركيبها . وعلى أى حال فمن الواجب أن نضع في اعتبارنا أنه من الممكن ألا تكون حرارة قشرة الأرض آخذة في التناقص ، بل أن تكون على عكس ذلك آخذة في الارتفاع .

تمثل الصعوبة الأساسية في تقدير درجة حرارة باطن الأرض في كوننا غير قادرين على أن ننفذ الى أعماق باطنها كي نقيس هذه الحرارة . ولو تيسر لنا ذلك فقد نجد من المعلومات ما يمكننا من البت في النظريات المتعلقة بأصل الأرض ، أيها صحيحة وأيها جانبها الفصوب . وبالطبع يمكننا دراسة درجة حرارة الحمم البركانية المنصهرة ، ولكننا لا نعلم كم انخفضت درجة حرارتها وهي في طريقها الى فوهة البركان ، كما أننا لا نعلم من أى عمق أتت . وكان الاعتقاد السائد أن هذه الحمم تنبع من مواضع قريبة من السطح ، غير أنه افترض حديثا أنها تأتي من أعماق كبيرة في باطن الأرض .

فنحن نعلم أن معدل ارتفاع درجة الحرارة تبعاً للعمق ، والذي نسميه « التدرج الحرارى » يختلف من مكان لآخر ، على سطح الكرة الأرضية . وليس هذا صحيحاً بالنسبة للمناطق البركانية و مناطق الينابيع الحارة حيث لا تتوقع اختلافاً كبيراً عن « المألوف » فحسب ، بل انه صحيح أيضاً بالنسبة للمناطق الهادئة البعيدة عن النشاط البركانى . ويتفاوت التدرج الحرارى فى المناطق الهادئة كذلك ما بين أقل من ١٠° الى ٥٠ درجة مئوية لكل عمق مقداره كيلو متر . وفضلاً عن ذلك فان التدرج الحرارى فى المنطقة الواحدة ليس منتظماً على الدوام ، ولكنه قد يتغير تغيراً مفاجئاً عند عمق معين ، فمثلاً فى بعض الآبار الواقعة فى تشيشاير بانجلترا نجد أن التدرج الحرارى يتغير طفرة الى الضعف عند عمق معين .

ما سبب هذه التغيرات فى التدرج الحرارى من مكان الى آخر ؟ من بين التفسيرات أن كميات الحرارة التى تسرى من الاعماق تختلف من مكان الى آخر ، وهذا التفسير صحيح جزئياً على وجه التأكيد فنحن نعلم الآن ، على كل حال ، ان التغير فى التدرج الحرارى عند المناطق الهادئة يرجع أساساً الى اختلاف معامل التوصيل الحرارى لطبقات الصخور عند كل مكان . وهذا يفسر أيضاً التغير فى التدرج الحرارى من عمق الى آخر فى حالة ما اذا كان التوصيل الحرارى لحدى الطبقات الصخرية أجود منه للطبقة الأخرى ، وتتوقف كمية الحرارة التى يوصلها الجسم الصلب على حاصل ضرب التدرج الحرارى خلال الجسم \times معامل توصيله الحرارى .

وفى خلال الاثنى عشر عاماً الاخيرة أجريت التجارب على عينات من صخور الآبار والمناجم والأفلاق الكائنة فى مناطق هادئة بجنوب

أفريقيا وانجلترا وإيران والولايات المتحدة ، وقد دلت المشاهدات على أن التدرج الحرارى يميل الى الانخفاض كلما كان معامل التوصيل الحرارى للصخور كبيرا ، والعكس صحيح ، بحيث أن حاصل ضرب هذين المقدارين يساوى مقدارا ثابتا . وفيما عدا مساحات معينة ، مثل الحدائق الوطنية فى بللوتون حيث تؤدي بعض الاضطرابات المحلية الى ارتفاع درجة الحرارة قرب السطح ، فإنه يبدو أن كمية الحرارة المنبعثة من باطن الأرض قد تكون متساوية فى كل من سطوح القسارات . ومع كل ، فالمساحة التى اختبرت من سطح الأرض ضئيلة جدا ، وقد يسفر المستقبل عن العثور على انحرافات اقليمية هامة .

أما عن كمية الحرارة التى تسرى من باطن الأرض الى قاع المحيطات فلا نعلم عنها كثيرا ، غير أن هانز بيترسون (Hans Pettersson) السويدى و أ . س بولارد (E. C. Bullard) الانجليزى قد شرعا فى عمل بعض القياسات اللازمة ، ولن يمضى وقت طويل قبل أن نحصل على بعض المعلومات فى هذا الضدد ولما كان الماء يغطى ثلاثة أرباع سطح الأرض تقريبا ، فمن الواضح أننا فى حاجة الى الكثير من المعلومات قبل أن نبدأ فى تقدير كمية الحرارة الاجمالية المنبعثة من باطن الأرض .

والذى نعلمه على وجه اليقين أن كمية الحرارة المنبعثة من الأرض عن وحدة المساحات من سطحها ضئيلة جدا . وفيما عدا أماكن الظواهر الخاصة كالبراكين والينابيع الحارة ، تنتقل الحرارة بمعدل حوالى جزء من مليون من السعر فى الثانية لكل سم² من سطح الأرض ، وذلك على سطوح القارات حيث تم قياس هذه الكمية من الحرارة . وتقل هذه الكمية بوضع آلاف المرات عن

متوسط كمية الحرارة التي تصل من الشمس الى كل سم² من سطح الأرض . وواضح أن طقسنا وحرارة جونا تتوقفان على الشمس دون الحرارة الباطنية للأرض .

يعتدل أن معظم الحرارة التي نستعين تسربها الى السطح لا تنتقل اليه اطلاقا من نواة الارض الساخنة ، ولكنها تتولد في القشرة الأرضية . وقد نشأت هذه الفكرة عقب اكتشاف المواد ذات النشاط الاشعاعي ، وجاءت مؤيدة للرأى القائل بأنه من الممكن أن تكون درجة حرارة الارض في تزايد مستمر وليست في تناقص ، وذلك فضلا عن أن هذه الفكرة قد حملتنا على مراجعة آرائنا عن عمر الارض (وهو الذى قدره اللورد كلفن الراحل بعشرين مليون عام على أساس ما افترض من معدل تناقص درجة حرارة الأرض منذ بدأت وهي في حالة انصهار) .

ونحن نعلم الان أن كميات صغيرة من الحرارة تتولد باستمرار في كل الصخور العادية وذلك نتيجة تحلل عناصر الراديوم واليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم وغيرها من الذرات المشعة التي قد توجد بتلك الصخور . ويظهر النشاط الاشعاعي قويا في انصخور الجرانيتية على وجه الخصوص ، وهي الصخور التي تكون جزءا كبيرا من مادة القارات . والمعتقد أن سمك الطبقة الجرانيتية في القارات يبلغ في المتوسط حوالى ستة أميال (أنظر الجزء الخاص بقشرة الارض .) . ونصف كمية الحرارة التي تساب من باطن الارض الى سطحها قد يرجع الى الحرارة المتولدة عن النشاط الطبيعي الذى يحدث في مثل هذه الطبقة من الجرانيت .

وفي المناطق الجبلية حيث يحتمل أن تكون الطبقة الجرانيتية أكثر انضغاطا وأكبر سكا ، يجب أن تكون كمية الحرارة أكبر منها في السهول المنخفضة ، وفي العام الماضي أيد هذا الفرض أستاذ الفيزياء الأرضية فرانسيس برش (Francis Birch) بجامعة هارفارد ، بعد أن تبين له من تجاربه أن كميات الحرارة الداخلية التي تنساب في منطقة جبال كلورادو تزيد بحوالي ٦٠ ٪ عن التقدير المعتاد .

والى هذه الحرارة المتولدة في الجرانيت يجب أن نضيف الحرارة المتولدة في الصخور البازالتية المحتمل وجودها تحت القارات والمحيطات . وسرعة تولد الحرارة بالنشاط الاشعاعي في حجم معين من الصخور البازالتية يقدر بنصف أو ثلث سرعة تولدها في نفس الحجم من الصخور الجرانيتية ، غير أنه من المعتقد أن الطبقة البازالتية تبلغ في السمك ضعف الطبقة الجرانيتية التي تعلوها تحت سطح القارات . ونحن ، مع كل ، لسنا متأكدين تماما من صحة افتراض وجود هاتين الطبقتين من الجرانيت والبازالت أو من كمية نشاطهما الاشعاعي . كما أننا لا نستطيع الجزم بحالة النشاط الاشعاعي في باطن الارض ، رغم أن لدينا في النيازك دليلا يحتملنا على الاعتقاد بأن لهذا الباطن نشاطا اشعاعيا ، اذ يعتقد البعض بأن هذه النيازك أجزاء من كوكب متحطم . (وبهذه المناسبة يعتبر افتقارنا الى معرفة كمية النشاط الاشعاعي بباطن الارض سببا آخر هاما لتعذر تقديرنا لدرجة حرارته) . ويبدو على كل حال أن معدل توليد الحرارة بالنشاط الاشعاعي في الارض أكبر من معدل ما يتسرب من حرارة الارض الى الفضاء فاذا كان هذا

صحيحاً فمعناه أن درجة حرارة الأرض في تزايد تدريجي ، ولكنه تزايد ببطء لا يحملنا على القلق من هذه الناحية .

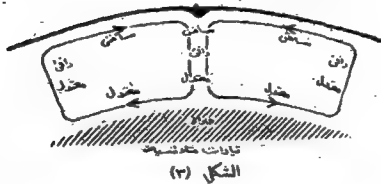
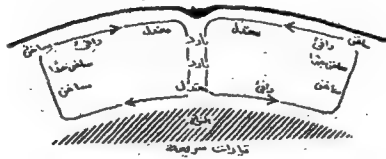
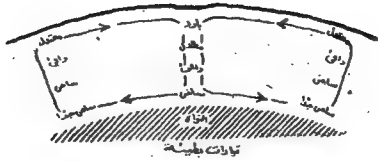
وهناك افتراض بأن حرارة البراكين ترجع الى النشاط الاشعاعي غير أن هذا أمر بعيد الاحتمال لفضالة ما نشاهده من النشاط الاشعاعي لمواد الحمم البركانية . ومع كل ، فقد افترض بولارد حديثاً وجود مواد ذات نشاط اشعاعي في نواة الأرض السائلة اليها تمزى ظاهرة « الحمل » التي تتجلى في النواة ، تلك الظاهرة التي اتخذها رانكورن كما أوضح في مقاله عن مغنطيسية الأرض في هذا الكتاب أساساً لتفسير العملية الميكانيكية التي ينشأ عنها المجال المغنطيسي لكوكب الأرض .

وقد يوجد بالطبقة الغلافية من جسم الأرض نوع آخر من تيارات الحمل شديد البطء تتوالى في فترات متقطعة . والمقصود بالطبقة الغلافية كما هو مبين بالشكل (٢) هو القطاع الواقع بين القشرة والنواة ، والذي يبلغ سمكه ٢٠٠٠ ميل . والطبقة الغلافية مثل الاجسام الصلبة من حيث انتقال أمواج الزلازل ، غير أنها من المحتمل أن تكون أكثر شبيهاً بسائل كثيف لزج منها بجسم بلوري صلب . وقد اقترح د . ت جريجز (D. T. Griggs) بجامعة كاليفورنيا وآخرون أن تكوين السلاسل الجبلية يعود الى تيارات الحمل الحرارى التي تسرى بالطبقة الغلافية من جسم الأرض ، وكذلك قد يعود اليها وجود بعض شواذ معينة في ظواهر الجاذبية مرتبطة ببعض أعماق المحيط .

وفحوى النظرية هو أن جزء الطبقة الغلافية القريب من نواة الأرض قد يتمدد بالتسخين ، فتقل كثافته ويرفع الى أعلى ، فتندفع

المواد الباردة المجاورة لتحل محله ، وبهذا تبدأ في الطبقة الغلافية « خلية حمل » (انظر شكل ٣) « وقد تسحب تيارات الحمل عند قاع القشرة جزءا منها الى أسفل يتخلف عنها تجويف ، يستلئ بالطبقات الرسوبية الخفيفة . وهذا قد يفسر النقص العجيب الذى يلزم الجاذبية فوق بعض أجزاء المحيطات . (انظر الجزء الخاص عن « أخاديد المحيط الهادئ ») . وفي النهاية ، فإن تيار الحمل قد يرفع الى أعلى كميات كافية من المواد الساخنة ، فتستقر الخلية ونقطع التيار نفسه ، وبهذا تختفى القوة التى تجذب هذا الجزء من القشرة الى أسفل ، فيندفع مرتدا الى أعلى ، كما يحدث لقطعة الثلج عند غمرها فى الماء ثم اطلاق سراحها لتطفو على السطح . وتبعا لهذه النظرية ، فإن المادة التى ترتفع طافية قد تكون سلسلة من الجبال .

وهناك وسيلة لاختبار نظرية وجود تيارات الحمل فى الطبقة الغلافية من الارض . فاذا كانت هذه التيارات موجودة حقاً ، وأنها تدفع بالمواد الساخنة نسبيا الى أعلى الطبقة الغلافية ، فإن انتقال الحرارة الى سطح الارض عند هذا الجزء يكون أكثر من المعتاد . ومن الناحية الجيولوجية ، يكون المكان المناسب لهذا الاختبار هو بالقرب من سلسلة جبال حديثة ، حيث تكون تيارات الحمل قد توقفت حديثا عن السريان . وقد أجرى اختبار من هذا النوع فى كاليفورنيا ، واتضح فعلا أن معدل انتقال الحرارة الى السطح يزيد بمقدار ٢٠٪ عن المعدل العادى ، غير أن الامر لا يزال مفتقرا الى قياسات أخرى كثيرة ، وحتى اذا أجريت هذه القياسات ، فإن وجود معدل مرتفع لانتقال الحرارة لن يكون برهاناً قاطعاً لنظرية ، إذ أن من السهل تعليل هذه الظاهرة على أنس أخرى ،



من المقترح أن تيارات الحمل المحتمل وجودها بالطبقة الغلافية من الأرض هي السبب في عملية تكوين الجبال والشكل بين المراحل الثلاثة للعملية ويمكن الكشف من وجود هذه التيارات بقياس الحرارة المنتجة من الأرض بالقرب من سلاسل الجبال الحديثة .

ومن أبرز الحقائق عن حرارة الأرض أنها تتقبل في التربة والصخور ببطء شديد جداً ، ويبدو أن درجات الحرارة تظل ثابتة زمناً طويلاً . فالتغيرات اليومية التي تطرأ على درجة حرارة الجو

يصعب أن نجد لها أثرا على عمق قدم أو قدمين تحت السطح .
ويندر أن يؤثر حر اليوم أو برودته على طبقة الأرض عند هذا
العمق بأكثر من درجة واحدة مئوية . ويصل هذا التأثير الى ذلك
العمق بعد يوم أو نصف يوم على حسب درجة توصيل التربة ، أما
الطبقات عند عمق بضعة أقدام من السطح فلا يؤثر عليها سوى
التغيرات الموسمية الطويلة المدى ، ويستغرق وصول أثر هذه
التغيرات الى ذلك العمق بضعة أشهر حتى أننا لنجد الصخور عند
هذا العمق أبرد ما يمكن في منتصف فصل الصيف ، وتجدها أدفأ
ما يمكن في منتصف فصل الشتاء . ويصل أثر التغيرات الموسمية
الى عمق ٥٠ قدما بعد فترة تناهز عاما كاملا ، ويكون التغير في
درجات الحرارة عند هذا العمق ضئيلا . والذين يعرفون خواص
الكهرباء عند الترددات العالية يألّفون هذا التأثير على أنه « تأثير
سطحي » حراري ، ذو أبعاد غريبة تكاد تكون خيالية .

أما عن ثبوت درجة الحرارة لمدة طويلة فإن برد العصر الجليدي
الآخر ، والذي انقضى عليه ٢٠.٠٠٠ عام تقريبا ، لا يزال أثره
محسوبا بوضوح عند عمق بضعة آلاف قليلة من الاقدام . وقد
أوضح « فرنسيس برش » مؤخرا أنه يجدر بنا عند قياس انتقال
الحرارة في الآبار العميقة أن نأخذ في اعتبارنا الفترة الطويلة
للطقس البارد التي يعتقد أنها استغرقت حوالي ١٠٠.٠٠٠ عام عند
بداية « العصر الحديث » (Pleistocene Period) منذ مليون
عام مضت .

وفي الحقيقة ، نجد أن توصيل الأرض للحرارة من البطء
بحيث ان الثلاثة بلايين عاما من عمر الأرض لم تكن كافية لكي
تقل بطريق التوصيل الى السطح كميات كبيرة من حرارة النشاط

الاشعاعي الممكن تولدها تحت أعماق تربو كثيرا عن ٢٠٠ ميل .
وقد أشار ل . ب سlichter (L. B. Slichter) بجامعة كاليفورنيا
أن حرارة النشاط الاشعاعي المتولدة عند هذه الاعماق لا تزال
متراكمة وأنها لم تجد بعد الوقت الكافي لكي تصل إلينا ، ولهذا
لا يمكننا أن نحس بها عند السطح ، وطبيعي أننا بعد قليل من
بلايين الاعوام ستكون لدينا فكرة أوضح عن هذا الوضع .

وفي هذه الاثناء ، يستطيع هؤلاء الذين لم يوهبوا صبرا خارقا
للعادة أن يجدوا في قياسات انتقال الحرارة في الارض عوناً على
تشخيص حالتها . ورغم أن هذه القياسات لا تحكى لنا القصة
كاملة ولا تشبع كل فضولنا الا أنها تتصل بالكثير من مشاكل
الفيزياء الارضية الهامة والمتعلقة بتاريخ الأرض ، ماضيها وحاضرها
ومستقبلها .

مغناطيسية الأرض

بقلم

ك. د. انكوره

كان المجال المغناطيسي للأرض موضوع البحث الذي نشره أستاذ الطبيعة الانجليزي وليم جلبرت (William Gilbert) في عام ١٦٠٠ بعنوان (De Magnete) (المغناطيس) وهو من أول ما نشر من موضوعات العلم التجريبي. ويطلق على جلبرت أحيانا لقب «أب الكهرباء». كان معروفا آنذا أن الابرة المغنطة لا تميل الى الاتجاه شمالا فحسب، ولكنها اذا سمح لها بالحركة في مستو رأسي فانها تستقر مائلة الى تحت عندما تكون بالنصف الشمالي من الكرة الارضية. وتشير الى ما فوق الافق عندما تكون بالنصف الجنوبي. وللبحث عن تفسير لهذه الظاهرة صنع جلبرت كرة من الحجر المغناطيسي وتبع خطوط مجالها المغناطيسي بآبرة ميل، فكاث الابرة في أوضاع ميلها واشاراتها فوق هذا النموذج تتبع تقريبا نفس الاسلوب الذي تتبعه عند ما تنتقل على سطح الأرض. ومن ثم استنتج جلبرت أن الأرض تفعل فعل مغناطيس كبير.

كيف اكتسبت الأرض مغناطيسيتها؟ كان هذا اللغز يشهد

غموضا قرنا بعد قرن . وبطبيعة الحال استنتج جليبرت أن باطن الأرض يتكون من مادة مغناطيسية . لكن العلماء تحققوا من أن حرارة نواة الأرض مرتفعة جدا ، بحيث لا تسمح بأن تكون الأرض مغناطيسا مستديما - وقد طفت على هذه المشكلة مشاكل أخرى أشد غموضا . ففي المقام الأول ، قد اتضح أن المحور المغناطيسي بعيد عن القطب الشمالي الجغرافي بمئات الأميال وفي المقام الثاني ، دلت المشاهدات المتتالية في أماكن متفرقة على سطح الأرض على أن البوصلة تنحرف عن الشمال الحقيقي بطريقة لا رابط لها ، وفصلا عن ذلك ، فقد وجد أنه ، على مر القرون ، تطرأ تغيرات معينة على خطوط تساوي المجال المغناطيسي ، والتفسير الوحيد الذي يمكن استنباطه هو أن باطن الأرض ، حيث تتولد هذه المغناطيسية ، لم يكن بالصلابة التي كنا نظنها . ولا بد أن يكون باطنها في حالة حركة دائبة . وكما قال أستاذ الفيزياء الأرضية الشهير كريستوفر هانستين (Christopher Hansteen) في أوائل القرن التاسع عشر « تعبر الأرض عن حركاتها الداخلية بلسان الأبرة المغناطيسية الصامت » .

هنا نستمتع إلى ما يمكن أن ترويه الأبرة لنا : إن شدة المجال المغناطيسي الأرضي صغيرة جدا ، وهي تقاس بالقوة اللازمة لكي تنحرف أبرة البوصلة عن وضعها المختار . وقرب القطبين ، حيث تكون شدة المجال أكبر ما يمكن ، نجد أنها أضعف بمئات المرات من شدة المجال بين قطبي مغناطيس صغير على شكل حدوة الفرس كالذي يستخدمه الأطفال . وتميل الأبرة عموما لأن تتخذ مواضعها حول الأرض في خطوط منحنية تمتد من الشمال إلى الجنوب ، وتجه نحو الأرض إذا كانت بالقرب من القطب الشمالي المغناطيسي .

وتشير الى أعلى وهى بالقرب من القطب الجنوبي . لكن هناك أماكن قليلة جدا على سطح الأرض حيث تتجه الإبرة تماما نحو الشمال الحقيقى . ويتغير اتجاه الإبرة من مكان الى مكان بحيث يبدو المجال غاصا بدوامات غير منتظمة . وتتغير شدة المجال واتجاهه على مر الزمن . وقد جرى تسجيل هذه التغيرات المزمنة فى مرصد مغنطيسية منذ أكثر من ٤٠٠ عام .

وهناك أسباب عديدة تحملنا الان على الاعتقاد بأن مجال الأرض يتألف من مركبتين . فهناك أولا توجد خطوط قوى مغنطيسية ثابتة متحدة فى اتجاهها دائما مع محور دوران الأرض . وثانيا ، يتبدل هذا المجال الرئيسى بفعل خطوط قوى أخرى تنشأ بطريقة مفارقة داخل الأرض ، كما يتغير هذا المجال فى غير انتظام من مكان الى مكان على سطح الأرض وعلى مر الزمن . ويسمى هذا المجال غير المنتظم « بالمجال المتخلف » ، ويمكن معرفة قيمته بطرح قيمة المجال الرئيسى المحورى من قيمة المجال الحقيقى الذى تشير اليه البوصلة . وإذا رصدنا هذه الفروق على سطح الأرض - أى قيمة الاختلاف عن المجال الرئيسى مقدارا واتجاها عند الاماكن المختلفة - فانا نحصل على صورة تمثل المجال المتخلف .

وعلى هذا فان البوصلة توحى لنا بأن الأرض ممغنطة بطريقتين مختلفتين ، فلها مغنطيسية أولية مرتبطة ارتباطا مباشرا بدوران الأرض . ولها أيضا مغنطيسيات ثانوية متنقلة لها أثرها بالإضافة الى القوى الأولية .

والارصاد التى أجريت على مر الأعوام تدلنا على شىء من طبيعة تغيرات هذا المجال الثانوى أو المتخلف . فالمجال المتخلف

يتحرك ببطء حول الأرض ، متجهاً في حركته نحو الغرب . وخطوط قوى هذا المجال نفسه (وهى التى تبين اتجاه المجال وشدته عند الأماكن المختلفة) تتغير سريعاً فى خلال فترات تقرب مدة الواحدة منها ١٠ أعوام ، أو عاماً ، أو حتى شهر .

والمجال المتخلف أشبه ما يكون بسحب تتجمع وهى متحركة : شكلها فى تغير مستمر ، وتتحرك بأجمعها ، وبهذا وضح أن المجال المتخلف يتحرك دائماً فى اتجاه غربي كما تبينه الارصاد التى أجريت خلال القرون الماضية . والمجال المتخلف حرى بأن يتم دورة كاملة حول الأرض فى ١٦٠٠ عام اذا استمر متحركاً بنفس المعدل الذى نشهده . ويعتبر هذا تطوراً مذهلاً فى مرعته اذا ربطنا بينه وبين الأرض « الصلبة » .

واذا تعمقنا فى تاريخ المغنطيسية الأرضية ، تكشف لنا قصة أكثر غرابة . ففى الأعوام القليلة المنصرمة أمكن لنا أن نقرأ سجلاً مغنطيسياً للملايين الأعوام ، وكانت وسيلتنا الى ذلك بوصلة طبيعية زودتنا بها الطبيعة وجعلتها بين الصخور . وهذه الأبر المغنطيسية عبارة عن حبيبات دقيقة من مواد أكسيد الحديد المغنطيسى مثل Fe_3O_4 (الهيماتايت) ، Fe_2O_3 (الماجنيتايت) . وعند درجات الحرارة المرتفعة تنتظم ذرات هذه المواد فوراً فى خطوط تأخذ اتجاه أى مجال مغنطيسى ضعيف . وعلى هذا فبمجرد ما يلفظ بركان دماً حممه المنصهرة فوقها فانها تتمغنط بحبيباتها الحديدية المعدنية فى اتجاه المجال المغنطيسى المحلى فى ذلك الوقت وبعد أن تتأثر كثيراً فى اتجاه المجال المغنطيسى المحلى فى ذلك الوقت وبعد أن تبرد وتتجمد لا يمكن لمغنطيسيتها التى اكتسبتها أن تتأثر كثيراً بأى تغير يطرأ على المجال الأرضى . ومن ثم : فان تلك الحبيبات تمثل

حفريات مغناطيسية تسجل لنا اتجاه المجال المغنطيسى وقت أن تكونت
ملك الصخور . وفى بعض بقع من العالم ، تتراس الحمم البركانية
فوق طبقة ، مكونة مجموعة من مئات الطبقات نزودنا بتقويم وثيق
للتاريخ المغنطيسى . وأيسلاند وشمال غربى الولايات المتحدة
غنتان يمثل هذه الرواسب التى نجد بعضها ظاهرا على جدران
المغارات .

وقد تضم الصخور الرسوبية أيضا سجلًا مغنطيسيا حافلا .
فبعد أن تنفتت الجسيمات المغنطيسية من الصخور البركانية
القديمة وتهبط مترسبة ، فانها تميل الى أن تنظم فى خطوط فى
اتجاه المجال المغنطيسى الارضى . وعند ما يتجمد القاع متحجرا ،
فان الجسيمات المغنطيسية تثبت فى اتجاه المجال عند ذلك الوقت .

وبفحص هذه المغنطيسات المغنورة وسط الصخور عند أماكن
مختلفة على وجه الارض نجد أدلة على أن تغيرات مذهلة قد
طرأت على المجال الرئيسى المحورى للارض . فالقطب الشمالى
المغنطيسى والقطب الجنوبى المغنطيسى قد تبادلا وضعيهما عدة
مرات خلال العصر التالى (Tertiary period) (بين ٦٠ مليون عام ،
مليون عام مضت) ! أما طبقات الحمم البركانية فتزودنا بالدليل
على أن المجال بعد أن يظل ثابتا مئات الآلاف من السنين ، فانه
تتلاشى ثم يتكون ثانية واتجاه قطبيه عكس ما كانا عليه .

لا بد أن نشير الى أن هذا التفسير للسجلات الجولوجية غير
مقبول لدى بعض المتخصصين فى علم الفيزياء الارضية ، اذ يعيل
البعض الى الاعتقاد بأن حبيبات أكسيد الحديد تعكس اتجاه
مغنطتها بطريقة ما مستقلة عن المجال الارضى . غير أنه كلما زادت

دراساتنا للصخور المتعددة في الاماكن المختلفة ازددتا يقينا بأن
مجال الارض قد انعكس فعلا مرات عديدة .

وعلى هذا فاننا عند ما نحاول أن نقرر كيف تولد المجال
المغناطيسي الارضى يجب أن نضع في اعتبارنا نوعين من التغيرات :
تلك التغيرات التى تصحب المجال الرئيسى ، وكذلك التغيرات
الزمنية الطويلة الامد في المجال المتخلف .

منذ أكثر من قرن مضى أثبت العالم الالماني الرياضى الطبيعى
كارل فريدريك جاوس (Karl Friedrich Gauss) بما لا يدع مجالا
للشك أن المجال المغناطيسى يجب أن ينشأ داخل الارض . واليوم
لم يعد بمقدورنا أن نشك كثيرا في أن المجال يتولد فعلا بتأثير
تيارات كهربائية ناشئة عن تحرك المواد في باطن الأرض وكان العالم
الطبيعى والتر م. السازر (Walter M. Elsasser) أول من بين
كيف يمكن للتحركات في النواة السائلة أن تولد المجال المتغير ،
وكان ذلك في عام ١٩٣٩ .

وكخطوة أولى ، لتصور أن المجال الرئيسى للارض ينشأ
عن تيارات كهربائية تسرى في النواة (المكونة من حديد ونيكل)
بالنظام الموضح بالشكل (٤ - أ) . ويمكن أن تنشأ دوامات
محلية بتأثير تحركات الحمل داخل النواة السائلة ، ثم ان التيارات
الكهربائية الثانوية المتولدة في هذه المناطق تولد بدورها عددا من
المجالات المغناطيسية غير المنتظمة ، ومن هذه يتألف المجال المتخلف
للمغناطيسية الارضية . ونظرا لان كثافة النواة السائلة مرتفعة
جدا وقوامها أثقل كثيرا من السوائل العادية ، فان التغيرات في
المجالات غير المستقرة تكون أميل الى البطء . ومثل هذا النموذج

من شأنه أن يفسر التغيرات الجغرافية والتغيرات البطيئة في شكل المجال المتخلف للأرض ونمطه .

أما عن تحرك المجال نحو الغرب ، فلو سحت الصورة التي رسمناها لميكانيكية المجال المغنطيسي ، فلا بد أن نفترض أن نواة الأرض تدور داخل طبقة الغلاف . وهناك من الأدلة الفلكية الوجهية ما يؤيد صواب هذا الفرض . فسرعة دوران الأرض حول نفسها ليست سرعة ثابتة ، إذ تشير القياسات الدقيقة إلى أن فترة دوران الأرض حول نفسها في تغير طفيف مستمر . غير أن قانون كمية الحركة الزاوية ينص على أنه إذا تغيرت سرعة الحركة الدورانية لسطح الأرض فلا بد أن يتوازن هذا التغير بتغير سرعة جزء آخر في جوف الأرض . وعلى هذا فانه إذا زادت سرعة الطبقة الغلافية من الأرض فإن سرعة النواة لا بد أن تقل ، والعكس بالعكس .

وأبسط طريقة لتفسير هذه التغيرات في السرعة هو أن نفترض أن كلا من نواة الأرض والطبقة الغلافية يؤثر على الآخر بطريقة تولدها التيارات الكهربائية (وهذا الاثر مطابق للتأثير الواقع في المحرك الكهربائي بين ذراعه المتحرك وملفاته) . وأي تغير يطرأ على التيارات في نواة الأرض يغير من مقدار القوة الواقعة بين النواة والغلاف ، وبالتالي يغير من سرعة دوران كل منهما بالنسبة للآخر . وإذا حدث تغير فجائي فانه يُنشأ عنه زيادة كبيرة فجائية أو نقص كبير فجائي في سرعة دوران سطح الأرض . والواقع أن سرعة دوران سطح الأرض قد زادت في عام ١٨٩٧ زيادة فجائية بما يقرب من $\frac{2}{100}$ من الثانية في اليوم ، كما أنها في عام ١٩١٤ قد قصت بنفس القيمة تقريباً .

وهناك بعض النواحي الهامة في مقنطسية الارض لا يفسرها النموذج البسيط الذي ناقشناه : أولا ، لماذا يتحتم على التيارات أن تسرى في اتجاه معين حول محور النواة دون الالتجاء المضاد ، مما ترتب عليه أن يتخذ المجال المغنطيسي الاتجاه الشمالي - الجنوبي ؟ ثانيا ، هناك مشكلة أخرى تدور حول انعكاس موضعي قطبي الارض . واذا كان هذا النموذج صحيحا لتحتم علينا أن نفترض أن التيارات تضمحل وتختفي من وقت لآخر خلال التاريخ الجيولوجي ، ثم تعود لتسرى مرة أخرى في الاتجاه المضاد .

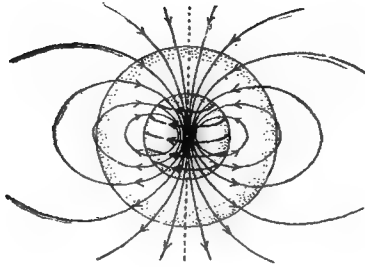
كان من الضروري أن يعدل هذا النموذج ، ويعد « الزاسار » (Elsasser) أول من تقدم بأراء أساسية يقوم عليها نموذج أفضل . فقد وجد أن المقلوب التقريبي لهذا النموذج يعتبر ممكنا من الناحية النظرية . ففي النموذج الاول يسرى التيار من الشرق الى الغرب حول نواة الارض مولدا مجالا يتجه من الشمال الى الجنوب . وهناك احتمال آخر وهو أن يسرى التيار من الشمال الى الجنوب مولدا مجالا يطوق النواة من الشرق الى الغرب (شكل ٤ - ب) . ويسمى هذا المجال المغنطيسي « مجال النمط الكهربائي » ، ولرباطته على سطح النواة لا يمكن أن يظهر له أثر ملموس على سطح الارض . أما المجال الذي يقوم برصده فهو أثر ثانوي : لانه عند ما يتحرك السائل في النواة عبر مجال النمط الكهربائي تتولد تيارات ينشأ عنها المجال المغنطيسي الشمالي - الجنوبي للارض .

مثل هذا النموذج يذلل الصعوبات الكبرى التي نواجهها في النموذج البسيط الذي اقترح أولا . فتبادل القطبين لموضعيهما

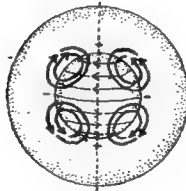
يمكن تفسيره بأن تفترض وجود تغيرات معينة في نظام تحرك السائل داخل النواة بطريق الحمل . فضلا عن هذا فان تحليل التغيرات الجوهريّة في سرعة دوران الأرض يصبح أكثر يسرا . فالمغناطيسية السطحية للأرض ليست من الشدة بحيث تكون مسئولة عن القوة اللازمة التي تتواجد بين النواة والطبقة الغلافية ، لكن مجال النمط الكهربائي حول النواة (الذي لا أثر له على سطح الأرض) يمكن أن يبلغ من الشدة القدر الكافي بحيث يفسر لنا مصدر هذه القوى .

لا تزال أمامنا مشكلة تفسير كيف نشأت التيارات الأولية المسؤولة عن مجال النمط الكهربائي . وتوجد في هذا الصدع عدة تخمينات ممكنة : قد ينشأ التيار من التفاعلات الكيميائية ، أو من الفروق في درجة الحرارة ، التي تحدث فرقا في الجهد بين قطبي النواة وخط استوائها (ويكفى فولت واحد لهذا الغرض) ، وقد ينشأ التيار من نوع ميكانيكية المولد الكهربائي الذي يعمل من تلقاء نفسه ، ويشمل النواة والطبقة الغلافية .

وأيّا كانت تلك الميكانيكية ، فما لا شك فيه أن المجال الأرضي مرتبط بطريقة ما بدوران الكوكب . وهذا يهدينا الى كشف هام عن دوران الأرض نفسه . ففضلا عن تبادل القطبين المغناطيسيين لموضعيهما ، فان هذين القطبين يواصلان حركتهما في ببطء شديد لانتماء عمليات التبادل خلال التاريخ المغناطيسي الحافل المسجل على صفحات الطبقات الصخرية للأرض . وليس في وسعنا الا أن نفترض أن المحور الجغرافي للأرض قد غير موضعه أيضا . وبعبارة أخرى أن كوكبنا قد انحرف في دورانه حول نفسه مغيرا



- ٢ -



- ٣ -

الشكل (١)

يفسر مصدر المجال المغنطيسي بنظامين مختلفين موضحين بالشكل .
 فالشكل (١) يفسره على أنه مجال « محوري ثنائي القطب » (الخطوط
 الخفيفة) بولده تيار يمر من الشرق الى الغرب (الخطوط الثقيلة) في نواة
 الأرض الملتهبة . وبين الشكل (ب) سريان التيار الكهربائي (الخطوط
 الثقيلة) من الشمال الى الجنوب مولدا مجال « النمط الكهربائي » الرباط
 على السطح للنواة والتجه شرقا وغربا (الخطوط الخفيفة) . والمجال الذي
 نشهده عند سطح الأرض في هذه الحال هو أثر ناتوي ناشئ عن تحرك المواد
 بطريق الحمل في النواة الملتهبة . وكلا التفسيرين لا يكفي تماما لتمايلس
 مصدر التيارات الكهربائية ولا لتعليل الخصائص المشاهدة للمجال المغنطيسي.

موضعي قطبيه الجغرافيين . وقد يعود هذا الى عملية تكوين الجبال أو الى تيازات الحمل بالطبقة الغلافية من جسم الأرض . واذا تحققت نظرية حركة القطبين الجغرافيين فمن الطبيعي أن تثير اهتمام علماء الجغرافيا الى حد كبير . فلعلها تفسر ، مثلا ، مانعلمه من وجود أثر مناطق جليدية في ماضى التاريخ الجيولوجى السحيق عند خط الاستواء الحالى .



الكرة الصخرية القشرة

الجزء الاول : شكل الأرض

بقلم وايتو . هاسكانن

يشغل المؤلف منصب مدير معهد المساحة ومقاييس الأرض ويشمل قسمي الخرائط والتصوير الفوتوغرافي من الجو التابع لجامعة ولاية أوهايو منذ عام ١٩٥١ . وقد حصل هاسكانن على درجة البكالوريوس ودرجة الماجستير في العلوم من جامعة الدولة بهنسنكي بموثنه فنلند ، حيث ولد ببلدة « كانجاسلامى » وكان الابن التاسع لآب غلاف . وفي عامى ١٩٢٠ ، ١٩٢١ ذهب الى ألمانيا حيث درس على دافيد هيلبرت (David Hilbert) وماكس بلانك (Max Planck) والبرت اينشتاين (Albert Einstein) ، في عام ١٩٢٦ أصبح هاسكانن استاذاً مساعداً لعلم المساحة ومقاييس الأرض بالمعهد الفنلندي للعلوم التطبيقية ، ثم رقى الى استاذ في عام ١٩٣١ . وكان هاسكانن عضواً في البرلمان الفنلندي في الفترة ما بين عام ١٩٢٣ وعام ١٩٣٦ .

الجزء الثاني : قشرة الأرض

بقلم والتر ه . بوتشر

ولد بوتشر بمدينة آكرون في أوهايو عام ١٨٨٨ ، وحصل على درجة الدكتوراه من هينلبرج عام ١٩١١ وقد باشر دراساته

عن تركيب قشرة الأرض وديناميكتها بجامعة « سينسيناتي »
طوال السبعة والعشرين عاما التي تلت ذلك . وفي عام ١٩٤٠ عين
استاذاً للجيولوجيا بجامعة كولومبيا ثم رئيساً للقسم في عام
١٩٥٠ .

الجزء الثالث : أخابيد المحيط الهادى

بقلم روبرت ل . فيشر ، وجر ريفيل

المؤلفان عضوان بمعهد «سكريبس» لعلوم البحار كاليفورنيا.
ويعمل ريفيل بمعهد « سكريبس » منذ عام ١٩٣١ وهو الآن
مديراً لهذا المعهد . وكان ريفيل يشتغل بعلوم البحار في السلاح
البحرى أثناء الحرب العالمية الثانية ، وكان رئيساً لقسم علوم
البحار للمعاملات الحربية التي عهد اليها بتجربة القنبلة الذرية
عند بيكينى عام ١٩٤٦ ، أما « فيشر » فهو جيولوجى تخصص
في علوم البحار . وقد بدأ دراسته للبكالوريوس بمعهد كاليفورنيا
للعلم التطبيقية ثم اتم دراسته بجامعة «نورث وسترن» وبمعهد
« سكريبس » . ويؤثر فيشر دراسات حقول التجارب بكثير من
أخابيد المحيط الهادى . وقد كان الرئيس العلمى لبعثات معهد
« سكريبس » للشواطىء القريبة للمكسيك وأمريكا الوسطى .

شكل الأرض

بقلم

وابكوهابطن

لو كانت الأرض كروية تماما لكانت الحياة أبسط كثيرا وخاصة بالنسبة لراسم الخرائط والجغرافيين والملاحين المتخصصين في علم الفيزياء الأرضية والمنقبين عن البترول وكثيرين غيرهم من الاختصاصيين . أما وأن الأرض منبعجة عند خط الاستواء ومتباعدة عند القطبين (نتيجة لدوران الأرض) فإن ذلك يسبب كل أنواع الصعوبات العملية للجنس البشرى ، كما يعقد الأمور كثيرا بالنسبة لعلم المساحة ومقاييس الأرض . والأدهى من ذلك أن الأرض ليست منتظمة في شكلها البيضاوى ، فضلا عن عدم انتظام سطحها (من جبال وسهول وبحار) فإن شكل الأرض أكثر تشوها من ذلك ، فهو أشبه ببرقالة بمجتها الضغوط .

لا تخطئوا فهم ما أعنى : ان كل مظاهر الخروج عن الشكل الكروى تعتبر صغيرة بالنسبة لابعاد الأرض فالقرطعة عند القطبين مثلا من الضالة بحيث أن المسافة بين مركز الأرض

وسطحها عند القطبين تقل بحوالى ١٣ ميلا فقط عن المسافة بين المركز والسطح عند خط الاستواء - وهو فرق يبلغ $\frac{1}{3}$ ثلث فى المائة فقط من متوسط نصف قطر الأرض البالغ ٤٠٠٠ ميل تقريبا . غير أن هذه الفوارق رغم اعتدالها فهى تجعل رسم الخرائط المساحية للأرض وتحديد شكلها أمرين غاية فى الصعوبة . فليست لدينا قدمة نستطيع أن نطوق بها الكرة التى نعيش فوقها : والوسيلة الوحيدة لتتبع محيط الأرض وتسجيل أبعاده هى أن نتنقل على سطحها ومعنا « مقياس جاذبية » ، لرصد الفروق الدقيقة فى مقدار الجاذبية من نقطة الى أخرى ، كدليل على المرتفعات والمنخفضات فى سطح الأرض على طول المحيط المتموج .

والأساس فى عمليات الرصد هذه هو القانون العام للجاذبية لاسحق نيوتن : يتجاذب الجسمان بقوة تتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيا مع مربع المسافة بينهما . وبالنسبة للجسم الكروى يمكن اعتبار كتلته مركزة عند مركزه ، وعلى هذا فان فراءات الجاذبية عند سطح الأرض تمدنا بمعلومات يمكننا أن نحسب منها ، مع غيرها من المعلومات ، كثافة الكتلة الأرضية الواقعة تحتنا ، وكذلك التغيرات فى المسافة بين مركز الأرض ومختلف النقط على سطحها .

ولا بد أن تأخذ فى اعتبارنا عوامل أخرى معينة تؤثر فى قوة الجاذبية . وعلى سبيل المثال ، نجد أن القوة المركزية الطاردة لدوران الأرض تضاد قوة الجاذبية ، وتكون هذه القوة الطاردة المضادة أكبر ما يمكن عند خط الاستواء ، ثم تقل تدريجيا مع خطوط العرض حتى تصل الى الصفر عند القطبين . ولهذا السبب ،

وبسبب قصر المسافة أيضا عند القطبين ، تزداد قوة الجاذبية قليلا كلما اتجهنا نحو القطبين . ومن النتائج الهامة المترتبة على ذلك أن قراءتنا تختلف مدلولاتها باختلاف خطوط العرض اذا فرضنا أن الظروف الأخرى متماثلة فقد كان من المتوقع في الدورة الاولمبية بملبورن في أستراليا عام ١٩٥٦ أن يسجل أبطال الوثب العالي وقاذفو الرمح أرقاما قياسية أعلا من تلك التي سجلت بهلنسى عام ١٩٥٢ . والأرقام القياسية الاولمبية القديمة جميعا قد ضربت في الواقع بأرقام أعلا في دورة ملبورن ، ما عدا الوثب الطويل . ومع كل ، فلا يمكننا أن نعزو الى تأثير الجاذبية قدرا يعدو جزءا ضئيلا جدا من الفرق بين الأرقام الجديدة والأرقام القديمة ، والبالغ ١٧ قدما و ٤ بوصات في قذف الرمح ، ٢٨ بوصة في الوثب العالي .

وتأثر الأرقام القياسية في الألعاب الرياضية ليس الا مثلا ضئيل الأهمية فمجال الجاذبية الأرضية له كثير من التطسقات الواقعية والهامة ، ما بين تحديد مواقع الحقول البترولية ، الى الاختبارات العلمية البحتة المتصلة بحجم الأرض وشكلها وتركيبها. وجماعات الرصد الثقلى تجوب أنحاء العالم لقياس الجاذبية في أكمل بقعة ، وسوف يشط هذا العمل بمناسبة السنة الجيوفيزيائية الدولية .

وتصل الأجهزة الحديثة في دقة تقديرها للجاذبية الأرضية الى حد تقريبا الى جزء من ٥٠ مليون . ففى الطريقة التقليدية يستخدم البندول المتذبذب : يتخذ زمن الذبذبة لبندول ذى طول معين مقياسا للجاذبية ، ويمكننا الحصول على تقدير دقيق جدا للجاذبية الأرضية بتعيين زمن بضعة ملايين من الذبذبات . ولا يزال البندول

هو الجهاز العياري لتقدير القيمة المطلقة للجاذبية ، غير أن الجهاز الشائع استعماله اليوم هو مقياس الجاذبية المعروف بالجرافيمتر (Gravimeter) وهو نوع من المقياس الزنبركي متناهى الحساسية . وتقاس الجاذبية بمقدار الاستطالة التي يحدثها جذب الأرض في سلك رفيع من السيليكا أو من سبيكة من النيكل والصلب ، يتدلى منه ثقل صغير . ونظرا لأن وزن مقياس الجاذبية هذا لا يتعدى بضعة أرطال فإن من السهل حمله الى أى مكان وتقدير قيمة الجاذبية في زمن لا يعُدو ثلاث أو خمس دقائق .

وقراءات مقياس الجاذبية قراءات نسبية ، أى تؤخذ بالمقارنة بين مكان وآخر ، ويجب العودة في حسابها الى قراءة مطلقة تعين بطريقة أخرى في محطة تعتبر مرجعا أساسيا .

وفي أعماق المحيط تؤخذ القراءات داخل غواصات بجهاز سسمه في براعة أستاذ الفيزياء الأرضية الهولاندى ف . أ . فيننج ماينتز (F. A. Vening Meinesz) وفي هذا الجهاز تستعمل ثلاثة بندولات كى تتلافى أثر تدخل حركة الماء وتسجل الجاذبية الأرضية فحسب (ومن سوء الطالع أنه ليس من السهل الحصول على غواصة تخصص للأغراض العلمية البحتة) . وتعين مقادير الجاذبية في المياه الضحلة باستعمال مقياس جاذبية معقد ، موضوع في صندوق محكم ، من تصميم شركة الخليج للبتروول (Gulf Oil Company) فيدلى الجهاز الى القاع وتسجل القراءات من قارب على سطح الماء .

وقد اختير برج هلمرت بمرصد « بوتسدام » بألمانيا ليكون مقرا للمحطة العيارية العالمية لتقارن بها قراءات الجاذبية في كل مكان . وفي تلك المحطة استعمل بندول دقيق جدا لتعيين قيمة

الجاذبية المطلقة ، وحددت قيمتها بمقدار ٩٨١٢٧٤ جال ، وتلك التسمية للوحدة الثقالية مشتقة من اسم العالم جاليليو (Galileo) وهى قوة التناقل التى يعبر عنها بمقدار العجلة التى يتحرك بها جسم ساقط نحو الأرض دون عائق . ومعنى هذا أن الجسم الساقط فى بوتسدام تزايد سرعته بمعدل ٩٨١٢٧٤ سم / ثانية / ثانية .

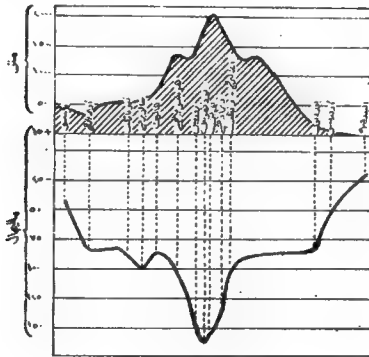
والمتبع فى التطبيق العملى ألا تدرج معظم قراءات الجاذبية فى بوتسدام ولكنها تدرج فى محطات رئيسية أخرى مرتبطة ببوتسدام ارتباطا مباشرا أو غير مباشر . وهناك مئات من المحطات الرئيسية والعيارية فى واشنطن وباريس وتيدنجن بانجلترا وأماكن أخرى

والهدف هو أن تنتشر فى النهاية محطات فى جميع أنحاء العالم ترتبط بمحطة بوتسدام العيارية . وسوف يساهم برنامج السنة الجيوفيزيائية العالمية بدور هام فى تحقيق هذه الغاية . وعندما نحصل على قراءات للجاذبية يمكن مقارنتها فى جميع أنحاء العالم سيكون فى مقدورنا أن نقدر ونحدد الشكل الحقيقى للأرض .

عندما يعالج رجل المساحة وعلم المقاييس دراسة الأرض يجد أمامه ثلاثة « أرض » أو ثلاثة أشكال مختلفة للأرض . فهناك أولا « أرض المتخصص فى علم الهندسة الرياضية » (أى الأرض كما يعالجها أستاذ الهندسة الرياضية - جسم يضاوى تماما ومنتظم ، وهو تقريبا لشكل الأرض ويتخذ مرجعا عاما . ثم هناك « أرض مستوى البحر » (أى سطح الأرض العمودى على اتجاه قوة الجاذبية عند جميع النقاط التى تحدد البسطح) ، ونجد شكل الأرض

هنا غير تام الانتظام بسبب التغيرات في كتلة الأرض ، فالسطح متعرج ، ويمكن قياس تعرجه عند أى موضع باستعمال مقياس الجاذبية . وأخيرا هناك الشكل الحقيقي للأرض نفسها ، بجبالها ووديانها وسهولها ومنخفضات محيطاتها .

والشكل البيضاوى المتخذ مرجعا عاما هو الشكل الذى استنبطه عام ١٩١٠ ج . ف هايفورد (J. E. Hayford) عضو مصلحة السواحل والمساحة ومقاييس الأرض بالولايات المتحدة .



الشكل (٥)

رسم بين شواذ الجاذبية في منطقة الالب . ليست قوى الجاذبية عند مواضع متعددة تختلف في ارتفاعها وتقع بين « باسلو » على الدانوب الاعلى بإفريقيا والبنديقية عند سطح البحر . وقد وجد ان الجاذبية اقل مما يجب ان تكون عليه عند ارتفاعات هذه الاماكن . مما يدل على وجود جـنـور صغيرة خفيفة نسبيا يارزة تحت الجبال . . ووحدة الجاذبية هي المليجـال .

وفى عام ١٩٣٠ استنبط المؤلف بالاشتراك مع أستاذ الفيزياء الأرضية الإيطالى ج . كاميسيى (G. Cassinis) معادلة تعطى القيمة النظرية لقوة الجاذبية على سطح الأرض عند أى خط عرض ، وذلك على فرض أن شكل الأرض يعضاوى منتظم كما حدده هايفورد فى مرجعه . وتستخدم هذه المعادلة معيارا للكشف عن تغيرات الجاذبية أو شواذها . ومن هذه التغيرات أو الشواذ يمكننا استنباط صورة دقيقة للقشرة الأرضية وطبقاتها .

لنفترض أننا رصدنا قراءة للجاذبية عند نقطة معينة على جبل الألب فى سويسرا . هذه القراءة تختلف بالطبع عن القيمة النظرية أو المتوسطة لخط العرض هذا . وأول الأسباب وأهمها هو أن هذه النقطة واقعة على جبل ، فبعدها عن مركز الأرض أكبر من البعد المتوسط . ولهذا يجب أن نصحح هذه القراءة لتعطينا مقدار الجاذبية المعيارى عند مستوى سطح البحر بالنسبة لهذه النقطة من الجبل . ويبلغ مقدار التصحيح حوالى ٠.٠٠٩٥ ر . جال لكل ارتفاع قدره ١٨٠٠ قدم . وبعد ذلك قد يفترض المرء أن علينا أن نجرى تصحيحا آخر بالنسبة للزيادة فى الجذب الناجمة عن كتلة الجبل الواقعة تحت هذه النقطة (وبالمثل أنه يجب فى حالة القراءات فوق سطح البحر أن ندخل تصحيحا بالنسبة لخفة وزن الماء) ، غير أنه من الغريب أن كتلة الجبل لا ترفع قراءة الجاذبية بالطريقة التى قد يتوقعها المرء . والسبب فى هذا أن القشرة الأرضية فى هذا المكان تتكون من مادة أقل كثافة ولها جذور تمتد الى مسافات أعماق مما نجدها فى الأراضى المنخفضة (أنظر شكل ٥) ، فى حين أن القشرة الأرضية تحت أعماق المحيطات رقيقة جدا وتمتد جذور القارات فى القشرة الى عمق يصل الى ٣٠ ميلا ،

وعند هذا العمق يكون الوزن ، من سطح الأرض ، متساويا تقريبا عند كل الأماكن ، سواء كان تحت الجبال أو السهول أو البحار . وتسمى هذه الحالة بحالة يتساوى فيها التوازن الاستاتيكي (Isostatic equilibrium) . ويربط قراءات الجاذبية بارتفاع السطح عن البحر فنحصل على مقدار سمك القشرة عند أى مكان . وقد عينت مع بعض طلابي هذا السمك في عدد من الأماكن بأوروبا وآسيا وأفريقيا وتتفق نتائجنا مع تلك التي حصل عليها السيسمولوجيون من مشاهداتهم لزمن وصول موجات الزلازل .

إذا أخذنا قراءات للجاذبية في كل مكان على سطح الأرض وصححناها بالنسبة لسطح البحر فاننا نحصل على بروفيل ثقافلي يعبر عن شكل الأرض في صورة سطح متعرج كما أشرنا الى ذلك من قبل . وهو يبين شواذ الجاذبية الناتجة عن الزيادة أو النقص في الكتلة . وغالبا ما يكون السطح الثقافلي عند أى مكان على وجه الأرض مائل للسطح بالنسبة للسطح البيضاوي تماما . وإذا أدلينا تقلا من خيط فان هذا الخيط يكون عموديا على جسم الأرض عند هذا الموضع وليس عموديا على الجسم البيضاوي الذي اتخذناه مرجعا ؛ والزاوية الواقعة بين العمودين تساوي زاوية ميل السطح الثقافلي على سطح المرجع البيضاوي . ويسمى انحراف الخيط « بالانحراف عن الاتجاه الرأسي » .

في عام ١٨٤٩ اقترح العالم الفيزيائي الانجليزي السير جورج ستوكس (George Stokes) أن شكل الجسم الأرضي « يمكن حسابه من قياساتنا للجاذبية في مختلف أنحاء العالم » . وفي عام

١٩٢٨ وضع « فيننج ماينز » معادلة لاستنباط ميل السطح عند أى مكان . ولا يزال ما لدينا من المشاهدات أقل بكثير مما يكفى للوصول الى صورة دقيقة لشكل الجسم الأرضى ، ولكن بعض طلابى بالمعهد الدولى للتساوى الاستاتيكي بفنلندة استنبطوا شكلا تقريبا له من واقع القياسات التى فى حوزتنا ، كما أن النتائج التى حصل عليها الراحل « ل . تانى » (L. Tanni) فى عام ١٩٤٨ لا يعدو الخطأ فيها ٣٠. قدما عند معظم أماكن الرصد التى أجرى الحساب عندها .

والطريقة الوحيدة لإيجاد الاتجاهات الرأسية الحقيقية لشكل الأرض ، ومن ثم قياس نصف قطر الأرض وحجمها ، هى أن نعرف ميل السطح للجسم الأرضى عند أمكنة مختلفة (أنظر شكل ٦) . ويلزم أيضا أن نعرف الاتجاه الرأسى الحقيقى لكى نحدد المواقع على سطح الأرض بمعاينة النجوم . فمثلا لتحديد خط العرض يكون مرجعا نقطتين : النجم الشمالى ونقطة السمت وهى النقطة التى تعلونا رأسا . وكما يستبين من الخيط الذى يتدلى منه ثقل (المطمار) فإن نقطة السمت تتغير بتغير ميل السطح للجسم الأرضى عند موضع الرصد ، وإذا شئنا مقارنة قراءاتنا فلا بد أن نعين نقط السمت من الاتجاه الرأسى الحقيقى (العمودى على الشكل الهندسى التام للاتظام) عند كل محطة على سطح الأرض .

والفكرة الأساسية فى رسم الخرائط بالطريقة التثاقلية (قياس الجاذبية) وفى البرنامج الحالى لقياسها فى كل أنحاء العالم ، هى أن انحرافات الجسم الأرضى وميل سطحه عند كل مكان يمكن استنباطهما من الشذوذ المشاهد فى الجاذبية . وتوضع الخرائط

عادة باختيار قط المراقبة وقياس أبعاد النقط الأخرى واتجاهاتها بحساب المثلثات. ويتطلب هذا العمل أن تفترض قيما معينة لانحناء السطح الذى نعتبره مرجعا ، للاتجاهات العمودية عند قط المراجع . ويلاحظ أن خرائط المناطق المختلفة لا تلتئم الواحدة مع الأخرى التاماً صحيحاً لأنها منسوبة الى مراجع مختلفة . وإذا كانت المنطقتان المراد وضع خريطتهما متقاربتين فإن الاختلافات يمكن تصحيحها بالربط المباشر بينهما . أما إذا كانت المساحات كبيرة جداً أو تفرق البحار بين أجزائها بحيث يتعذر قياس الأبعاد والمثلثات فوق السطح ، فإن الأمر يصبح عسيراً أو مستحيلاً . وعلى كل حال ، فإن الطريقة الثقالية تعتبر أسرع وأدق طريقة لربط جميع الخرائط بالنسبة لمرجع مشترك موحد .

وحتى عام ١٩٤٨ كانت احداثيات النظام السويدي تختلف عن احداثيات النظام الهولندي بأكثر من ٣٠٠ قدم لنفس نقطة المراقبة ، وكان النظام الفرنسى يختلف عن النظام الانجليزى بحوالى ٦٠٠ قدم . ولم يمكن لأحد أن يتكهن بالفروق بين النظم المساحية بالنسبة للقارات المختلفة .

اذن فإرسال نظام مساحى عالمى موحد هدف من أهداف برنامج الجاذبية العالمى « وسيكون هذا ميسوراً عندما يتم لنا الحصول على قراءات كثيرة تسمح بتطبيق معادلتى « ستوكس » و « فيننج ماينز » لشكل الجسم الأرضى تطبيقاً دقيقاً . وستمكنا البيانات أيضاً من رسم خرائط للمناطق المتخلفة التى لم تعين بها بعد قط مساحية .

ويمكننا عمل خريطة دقيقة الى حد معقول بتحديد مجموعة

ثلاثون دولة ، ومعظم شركات البترول الكبرى ، ومتخصصون في علم المساحة ومقاييس الأرض من جميع أنحاء العالم . ولدينا كبداية مئات الألوف من قراءات الجاذبية التي واقتنا بها بسخاء شركات البترول ، والقياسات التي تمت محليا في بعض الدول ، وحوالي ٤٠٠٠ محطة قياست في البحر ، وقام بقياسها أساسا فيننج ماينز وموريس ايوينج (Maurice Ewing) و ج . لامار فورتسيل (J. Lamar Worzel) بجامعة كولومبيا .

وتتخصر الأغراض الرئيسية من البرنامج في مراجعة أبعاد الأرض ، وإيجاد شكل الجسم الأرضي بالتفصيل ، وتحويل النظم المساحية الحالية الى نظام عالمي موحد دقيق ، وإعداد نقاط تتخذ مراجع عند اعداد خرائط مساحية للمناطق التي تعوزها نقط مساحية . وطريقة الرصد الثقالي ، سوف تيسر لنا مهمتنا في انجاز هذه الأعمال جميعها .

قشرة الأرض

بقلم

والتر ه. برنشر

يجتاز علم الجيولوجيا عهداً من الاكتشاف لانظير له. فالتعاون الوثيق بين الجيوفيزيائيين والجيولوجيين في عمليات الاستكشاف المنظمة على القشرة الأرضية ، مستخدمين أحدث وسائل الاختبار ، قد أشاح عن معلومات جديدة عن قاع المحيطات ، ووصل بنا الى أعوار عميقة في سطح القارات ، وبكنا من أن نحيط بالجيولوجية الاقليمية احاطة دقيقة . ومن ثم فإن آراءنا التقليدية عن العمليات انفيزيائية والكيميائية التي نشأت بها الأرض ، والتي لا تزال حتى الآن تحور في قشرتها ، هذه الآراء تتعرض اليوم لهزة كبرى .

بأي أسلوب تم بناء القارات والمحيطات هذا البناء المتنافر ؟ هل عملية البناء هذه لا تزال مستمرة فتخلق في المستقبل قارات جديدة؟ في بحثنا عن اجابة لهذين السؤالين يغمرننا جو من الشك والطموح التي ينطبع بها أى علم وهو في عصر ازدهاره . ويمالج هذا الجزء من الكتاب بعض ما اعتري آراءنا من تطورات أوحث بها تجاربنا في بضع عشرات السنين الماضية .

قشرة الأرض طبقة باردة صلبة نسبياً ، لا يزيد سمكها في الأرجح على ٣٠ ميلاً ، أى أقل من $\frac{1}{4}$ من المسافة بين سطح الأرض ومركزها . وتقوم فكرة وجود القشرة الأرضية على فرض أنه تحت غمق معين ترتفع درجة الحرارة ويشتد الضغط تفقد الصخور قديرتها على مقاومة تحور شكلها تحت عوامل الاجهاد المستمرة لفترة طويلة من الزمن . ويدل ما نشاهد من معدل ارتفاع درجة الحرارة في ماسورات الآبار ومهابط المناجم على أن درجة الحرارة لا بد أن تصل الى ١٠٠٠ درجة مئوية عند عمق ٣٠ ميلاً تحت سطح القارات والمعتقد أن الصخور الموجودة تحت هذا العمق يتعذر عليها أن تقاوم فروق الاجهاد الصغيرة نسبياً ، وأنها تتشكل لدنة تحت هذا الاجهاد .

ان ما يقع تحت نظرنا من هذه القشرة لا يعدو جزءاً صغيراً منها . والقطاعات التى تمكن من رؤيتها انما جلبتها الى أنظارنا عوامل الرفع والميل والتعرية في القارات والجزر . وكلما ازداد ما يتكشف لنا من القشرة ، يد لنا تنوع موادها وما سبق أن عايناه من عوامل الطي والتشقق على وجود نشاط ديناميكي داخل الأرض ، الأمر الذى يتعارض والرأى السائد عن استاتيكية القشرة كمجموعة من الطبقات المتحدة المركز . ولا بد أن يكون مبعث هذا النشاط تغيرات قوية تجزى تحت القشرة ، مما يوحي لنا أن الأرض العتيقة تدب فيها الحياة ، أكثر مما يتصوره المرء من قراءة الكتب الدراسية ، وتفسير هذا النشاط الديناميكي من المشاكل المعقدة في فيزياء الأرض .

ولن نيسر لنا أن نهتدى الى تفسير شاف قبل أن نمنى معلوماتنا عن تركيب الطبقات العميقة من القشرة . وتلك هي المهمة

الملقاة على عاتق الجيوفيزيائيين والجيولوجيين في عصرنا الحاضر وهم يعملون يدا بيد في أسلوب جماعي . ومجال عمل الجيولوجي يتحصر في الجزء الظاهر من طبقات الأرض ، والتي تغطي ربع مساحتها تقريبا . أما الثلاثة أرباع الباقية فيحجبها الماء والثلوج ، وكذلك تخفى علينا الأجزاء العميقة من القشرة في أى مكان ولهذا يتحتم علينا أن نكشف غوامضها كشفاً غير مباشر بأرصادنا الجيوفيزيائية مثل قياس القيم المحلية للجاذبية وقياس سرعة الأمواج الصوتية في طبقات الأرض المرنّة المختلفة ، وقياس اتجاه المجال المغنطيسي الأرضي المحلي ، وشدة هذا المجال . والنتائج التي تسفر عنها هذه القياسات يجب أن تترجم بعد ذلك الى ما يمكن إن تعنيه من حقائق جيولوجية محضة .

ومن المناسب أن نتناول بالبحث الجزء الواقع تحت القارات والجزء الواقع تحت المحيطات كلا على حدة . ما هو تركيب القشرة في الجزء الواقع تحت القارات ؟ اننا نستمد أول الأدلة في هذا الصدد من تحليل أزمنة وصول الموجات الزلزالية التي تصدر من نقط معلومة تعرف بالبور وتسرى في أجزاء من هذه القشرة . وتدل هذه القياسات على أن القشرة تحت كل القارات تتركب من جزئين : الجزء الأعلى ، وتنتقل فيه الموجات المرنّة بسرعة صغيرة نسبيا ، والجزء الأسفل ، وتسرى فيه الموجات بسرعة أكبر . ومقدار الفروق بين هذه السرعات يدل على اختلاف مواد الصخور طبقتي القشرة . ودراساتنا في المعمل لسرعة انتقال الموجات المرنّة في مختلف أنواع الصخور تمدنا بالدليل على نوع الصخور السائدة في كل من الطبقتين .

هناك نوعان عامان من الصخور الأرضية الأولية ، والتي

نسميها بالصخور النارية ، وقد تكونت بالتبريد والتبلور بعد حالة الانصهار الأصلية . والنوع الأول غنى بعنصرى السيليكون والألومنيوم ، ولذا أطلق عليه الاسم « سيالى » (Sialic) أم النوع الثانى فنسبة هذين العنصرين فيه ضئيلة ، لكنه غنى بعنصرى المغنسيوم والحديد ، ويسمى هذا النوع بالاسم « مافى » (Mafic) وأكثر أنواع الصخور السيلية شيوعا هو الجرانيت ، وأكثر الأنواع المافية شيوعا هو البازالت . وفى هذا الجزء من الكتاب سيكون المقصود بالتعبيرين « جرانيت » و « بازالت » هو النوعين المذكورين من الصخور النارية عموما

وباختبار هذه الصخور فى المعمل نجد أن انتقال الموجات المرة فى البازالت أسرع منه فى الجرانيت . وحيث أن موجات الزلازل تنتقل فى الطبقات العميقة من قشرة القارات أسرع من انتقالها فى الطبقات السطحية ، من ذلك نستنتج أن الطبقات العميقة مكونة من البازالت ، بينما تكون الطبقات السطحية من الجرانيت . ويبدو أن مساحات شاسعة من قاع المحيطات تملأ من الجرانيت ، فتتكون القشرة هناك من البازالت المغطى بفلاف من الطبقات الرسوبية الحديثة .

ويوحى هذا التوزيع بأن جرانيت القشرة الأرضية قد نشأ كنوع من الزبد فوق الطبقة البازالتية الأصلية ، وكان هذا هو رأى السائد زمنا طويلا . غير أن هذا رأى قد أصبح موضعاً للشك بسبب بعض الخصائص التى يقترن بها توزيع الصخور الجرانيتية . فافك لا تجد بين الصخور الجرانيتية بالأرض كتلة ضخمة واحدة منها تقع بيساطة فوق الطبقة البازالتية ، ولكن مثل هذه الكتل طالما توجد مرتبطة ارتباطا وثيقا بالتجمعات الضخمة

من الصخور الرسوبية القديمة ، التي يبدو أنها عانت من جراء غزو الصخور الجرانيتية لها نوعا من التفاعلات ، فتحوّلت عند درجات الحرارة والضغط المرتفعة الى ما يسمى بالصخور المتحوّلة .

ومفتاح مشكلة تركيب القشرة يكمن في هذا التناظر في علاقات تركيب الجرانيت والبالزالت . وعلينا أن نمنع النظر في تركيب القارات كما تبدو لنا عند سطحها ، كي نحيط بالموضوع احاطة أدق .

تشارك القارات جميعا في أوجه التركيب الأساسية . فكل قارة تحتوى على الأقل على « درع من صخور عصر ما قبل الكمبرى » (Pre-Cambrian Shield) يغطى منطقة كبيرة من الهضاب تتكون أساسا من صخور قديمة ، عبارة عن طبقات رسوبية نتيجة لغزو الصخور النارية لها ، ومعظمها من الجرانيت . وتعتبر هذه الصخور الأساس بالنسبة لجميع القارات . وقد نشأت أصلا عند أعماق كبيرة تحت السطح ، أما الآن فتبدو مكشوفة عند السطح ، منحنية الى أعلا بتأثير عوامل الرفع المحلية ، ثم استوى سطحها بعد ذلك بفعل عوامل التعرية .

وصخور الأساس التي يظهر منها جزء في كل قارة ، تمتد مختلفة عن الاظهار تحت طبقة من الرواسب الحيوانية القديمة (Paliosioic Sedements) التي ترسبت فوقها . الوجه التركيبى الثانى تمثله اذن هذه الطبقات الرسوبية التى تعلو صخور أساس عصر ما قبل الكمبرى . وتتكون الطبقات الرسوبية عموما من بضعة آلاف الأقدام من الحجر الجيرى وضرب من الصخور تعرف بالطفل ، والحجر الرملى . وأخيرا يوجد بكل قارة حزام

من الجبال يمتري طبقاتها الكثير من الطيات وهذه الجبال عبارة عن كتل ضخمة من الصخور الرسوبية ، معظمها من أصل بحري ، مضغوطة وذات طيات ، وتخللها فوالق عديدة .

وفي عام ١٨٥٩ لاحظ الجيولوجى الأمريكى « جيمس هول » (James Hall) أنه كلما ابتعد المرء عن سهول الطبقة الرسوبية متجها نحو الحزام الجبلى ، ازداد سمك الطبقة الرسوبية ، وأنحدرت الصخور الأساس الواقعة تحتها الى أغوار غير معلومة . وتظهر الصخور الجرانيتية وسط هذه الطبقة السميكة من الرواسب . فالجرانيت ليس جزءا من صخور الأساس « الغامدة » لكنه صخر ناري « نابض بالحياة » ، أغار على الطبقات الرسوبية فى كتل كبيرة وحولها الى صخور متحولة من نفس النوع المقترن بالصخور الجرانيتية فى دروع القارات . والأجزاء المتحولة فى الأحزمة الجبلية الحديثة الضخمة اذا تعرضت الى مستوى انجر ، فانه ، من حيث نوع الصخور وتركيبها ، يصعب التمييز بينها وبين ما يرتبط بها من جرانيت دروع القارات . وفى الواقع ، كلما تعمقنا فى دراسة التركيب المعقد لدروع القارات ، تأكد لدينا أنها تتكون من بقايا أحزمة جبال ذات طيات سالفة ، كانت قد نشأت خلال المليون ونصف مليون العام الأولى من تاريخ الأرض . وإذا شئنا أن ندرك كيف نشأت القشرة الواقعة تحت القارات فلا يجوز أن تقتصر على دراسة هذه البقايا المتعرية ، بل يجب أن ندرس أيضا أحزمة الجبال المطوية الحديثة الموجودة حاليا .

قبل أن يصبح علم الجيولوجيا علما منظما ، وقع بطريق الصدفة كشف بالغ الأهمية بمنطقة « الاندز » فى « بيرو » ، وهى واحدة من أكبر أحزمة الجبال ذات الطيات الحديثة . ففى عام

١٧٤٠ بينما كانت بعثة فرنسية موفدة الى بيرو لقياس طول قوس من خط الزوال اكتشفت أن ميل خط المطمار ضئيل جدا بالنسبة لقوة الجذب الثقالي لمرتفعات الأنديز ، ولاحظت أن النقص المشاهد في ميل الخيط كان أقل من المتوقع في وجود مثل هذه الريلدة في الكتلة فوق السطح . وكان مكتشف هذه الظاهرة هو العالم الرياضى الفرنسى « بيير بوجيه » (Pierre Bouguer) الذى استنتج أن صخور هذه الجبال وما يقع تحتها الى مسافات محدودة أخف من الصخور المحيطة بها . وقد ظن « بوجيه » أن ذلك قد يكون ناشئا عن تمدد الصخور العميقة بتأثير الحرارة .

وبعد مائة عام من اكتشاف « بوجيه » تدعم استنتاجه بما لاحظته الفلكى الانجليزى « جورج ب . أيرى » (George B. Airy) من قصص في قوة الجذب الثقالي بالنسبة لجبال الهيمالايا . فالصخور التى تعلوها جبال تكون أقل كثافة من الصخور المحيطة بها . وافترض أيرى أن صخور القشرة الجرانيتية الخفيفة تمتد تحت الجبال الى مسافات عميقة خلال الطبقة البازالتية التى تليها والتى تفوقها كثافة . ومن خلال هذا الاقتراح انبثقت فكرة أن للجبال « جذورا » . واقترح أيرى أن الجبال « وجذورها » تطفو فوق ما يحيط بها كما يطفو جبل الجليد فوق الماء . وكلما قل وزن الجبل كلما طفا أعلى .

وفي الأعوام الأخيرة أثبتت الأساليب الحديثة الدقيقة لقياس القيم المحلية للجاذبية بصفة قاطعة أن قيمة الجاذبية تقل بوجه عام كلما ازداد ارتفاع السطح ، غير أن النقص المشاهد في قيمة الجاذبية أكبر مما يمكن أن يعزى الى مجرد الارتفاع عن سطح البحر . ويطلق التعبير « فرق بوجيه للجاذبية » على الفرق بين

القيمة الحقيقية المشاهدة للجاذبية والقيمة النظرية المتوقعة على فرض تساوى كثافة الصخور جميعا . وبين الشكل (هـ) قطاعات فرض تساوى كثافة الصخور جميعا . وبين الشكل (هـ) قطاعا تناقليا يعبر عن فروق بوجيه عبر جبال الألب الشرقية . ففى هذه المنطقة جميعها نجد أن الجاذبية عند أى مكان أقل مما يجب أن تكون عليه اذا افترضنا أن الكثافة فى هذه المنطقة تساوى متوسط الكثافة فى المناطق غير الجبلية . وأهم من ذلك أن الفرق فى الجاذبية يتزايد بتزايد ارتفاع السطح ، ويبلغ هذا الفرق أقصاه عند قمة الجبل ، وهذا فى الواقع يوحى بوجود « جذر » للجبل . ونمدنا الدراسات السيسمولوجية بدليل حاسم . فالواضح أن سرعة انتقال أمواج الزلازل عند المستويات العميقة تحت القشرة فى جبال الألب الشرقية أقل منها عند مثل هذه الأعماق فى المناطق الأخرى ، مما يدل على أن الصخور الخفيفة (التى تنتقل فيها الموجات ببطء) تمتد عميقا الى أغوار تكون عادة مكونة من صخور أكثر كثافة . وبعبارة أخرى ، فإن لجبال الألب « جذرا » جرانيتيا . والأمر كذلك بالنسبة لمناطق الجبال الحديثة ذات الطيات التى تمت دراستها .

هل « تطفو » هذه الجذور الجبلية فى المواد البازالتية الأثقل منها وفى المواد الصخرية فوق القاعدية ، أم أنها أشبه بجذور الأسنان فى الفك ؟ تتمذر الاجابة على هذا السؤال بأى طريقة جيوفيزيائية معروفة . على أن الاجابة يمكن أن تتوفر فقط بدراسة الجبال نفسها .

وتمدنا « السيرا نيفادا » بكاليفورنيا بالولايات المتحدة بمثال عتمد لمنطقة حديثة العهد بجبال ذات جذور جرانيتية واقعية كما .

تعتبر المنطقة أيضا نموذجا من أفضل النماذج لحالة غزو الجرانيت للطبقات الرسوبية . وهنا ، كما في جميع الجبال الحديثة ذات الطيات ، لابد وأن تقع صخور أساس ما قبل العصر الكمبرى على عمق أميال كثيرة تحت السطح . وتتكون المنطقة من طبقات رسوبية بحرية ، وخاصة الطفلية التي أحوالها الضغوط الى شكل معقد وطيات متقاربة . غير أن أكثر من نصف الطبقات التي ترسبت هناك قد اختفت تماما ، وجل الجرانيت محلها ، حيث يؤلف القلب الداخلى المتراعى الأطراف لمنطقة السيرونيفادا . من أين أتى الجرانيت ، وأين اختفت الرواسب ؟

الجواب التقليدى على السؤال الأول مضلل في بساطته . فمنذ مولد علم الجيولوجيا قد اعتبر من باب البديهيات أن الطبقة السطحية للقشرة الأرضية تتكون أصلا من الجرانيت ، وأن الجرانيت يؤلف الأساس الذى تركز عليه جميع الطبقات الرسوبية . وفي فحوى النظرية التقليدية أن عملية الضغوط الجانبية على القشرة ، والتي تكون الجبال ، تدفع الجزء الجرانيتى من القشرة الى أسفل ليؤلف جذرا صلبا ، والى أعلا وهو منصهر ليزيح الطبقات الرسوبية السميككة فى الحزام الجبلى .

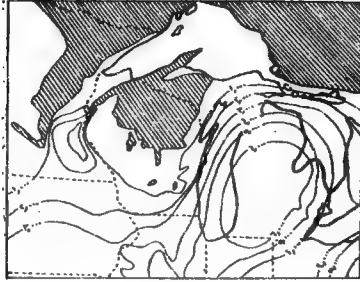
وينطوى هذا الأمر على خصائص مزدوجة يشوبها شيء من الغرابة . فلكى تطفو المنطقة الجبلية الحديثة ، يجب أن تكون الجذور الجرانيتية قادرة على أن تحتفظ بشكلها وأن تقاوم التشكل الدرجة كبيرة أكثر مما تفعل الصخور البازلتية الواقعة تحتها . غير أنه فى الأعماق الضحلة وعند درجات الحرارة والضغط المنخفضة ينصهر الجرانيت نفسه ويحل محل أحجام ضخمة من

الطبقات الرسوبية بعد أن يدفع بها الى أسفل بعيدا عن الانظار .
ولا نعلم من الخصائص ما يستقيم وهذا التصرف المزدوج . فحيثما
وجدت الصخور البازلتية والصخور الجرانيتية متشكلة جنبا الى
جنب في الأجزاء التي تعرت الى عمق كبير في سطح الأرض نجد
أن الصخور الجرانيتية ألين عودا من الأخرى . وعلاوة على ذلك
فإن درجة انصهار الصخور البازلتية أعلى منها للصخور الجرانيتية .

ولهذا يتحتم علينا أن نفترض أنه عندما يتكون جبل خديث
نتيجة للضغوط الواقعة على القشرة السطحية للقارة فإن الجزء
الجرانيتي الابتدائي يدفع الى أسفل ليندمج في جزء القشرة
البازالتي الذي يفوقه صلابة وكثافة ، ليكونا كتلة لدنة ، وفي هذه
الحالة يمكن للجذور ان تتكون ، غير أنها ليست بالجذور التي
تطفو في ما يحيط بها من المواد . وكل ما يحدث هو أن الجرانيت
سوف يزيد من نسبة القشرة الصلبة اللدنة في هذا المكان أكثر مما
يفعل في الأماكن الأخرى .

أصبحنا غير واثقين من أن الجرانيت كان عند نشأة الأرض
يؤلف جزءا أساسيا من القشرة الابتدائية فتلك البديهة الراسخة
من بديهيات علم الجيولوجيا تتحداها الآن حجة من أبرز الحجج
في علم الصخور المعاصر . وللموضوع صلة بالسؤال الثاني الذي
أوردناه : أين اختفت الطبقات الرسوبية عندما حل الجرانيت
محلها ؟

وقد حل الجرانيت محل الطبقات الرسوبية في السيرا نيفادا
الى ارتفاع ثلاثة أميال فوق سطح البحر ، في منطقة تبلغ حوالى
٤٠٠ ميلا طولا ، ويصل عرضها في بعض المواضع الى ٧٠ ميلا .



الشكل (٧)

تبين هذه الخريطة منخفضات ومرتفعات صخور الأساس التي ترجع إلى عصر ما قبل الكمبري ، وذلك في منطقة البحيرات الكبرى . وفي المساحة المظلمة يبدو الصخر عند السطح . وفي المساحة البيضاء يقع الصخر تحت السطح عند الارتفاعات بينما يغطون تساوياً الانخفاض ويبلغ عمق الأساس أكثر من ميل في المنطقة الواقعة تحت متشيجان الوسطى .

وتدل الخرائط المفصلة على أن الجرانيت لم يحتل مكانه دفعة واحدة ، فالجرانيت في غزوه للطبقات الرسوبية قد تقدم على دفعات متتابعة متسلسلة ، والعلاقات التركيبية المشاهدة ليست بالنوع الذي يتوقعه المرء إذا كان ما حدث هو مجرد دفع الجرانيت للطبقات الرسوبية جانباً . فهو يبدو وكأنه نحت له موضعاً وسط هذه الرواسب . فكل كتلة جرانيتية كبرى تقع في حزام من الصخور الرسوبية المتحولة ، أما المنطقة المحيطة بها فتبدو موادها الجرانيتية وكأنها قد رشحت ما حولها من الصخور بطريقة معقدة . وفي مثل هذه المناطق المتطرفة نجد أن الصخور الجرانيتية التي يتراوح سمكها بين آلاف الأقدام ، والرقائق الدقيقة في سمك الورقة تتشابك ، وتتقاطع عبر منطقة وأخرى في شكل قوائم أو

سدود نارية . وحتى في المساحات الواقعة بين هذه الرقائق والسدود ، نجد أن بوتاس وصودا « الفلبسار » (وهو ضرب من الصخور الجرانيتية) متناثرة بانتظام على شكل بلورات مكتملة المعالم وحديثة التكوين ، أو مجموعات من هذه البلورات منتشرة في غير انتظام وتشغل البلورات الحيز الذي كانت الصخور الرسوبية تشغله قبلا ، غير أنه ليس هناك ما يدل على أنها أقمت في مكانها هذا بالقوة . ولا بد أن تكون قد تبلورت من الطبقات الرسوبية الأصلية ، بعد أن أضيفت إليها نسب صغيرة من القلوبات ، وربما أيضا من السيليكات وهي في حالة غازية أو ذائبة . وتدل الدراسات المفصلة في علم الصخور ، بما لا يدع مجالا للشك المعقول ، على أن أجساما كاملة من الجرانيت قد تكونت بمثل هذه العمليات ، وتسمى بعمليات « التجرت » (Granitigation) .

وتحول الطبقات الرسوبية ، وحتى الحمم البركانية ، الى جرانيت أمر تقوم عليه الدلائل المقنعة ، حتى أن أحدا من المشتغلين بعلم الصخور لا يستطيع أن ينكر الآن أن بعض الجرانيت قد تكون بعملية التجرت . والسؤال الآن هو : كم من الجرانيت الموجود بالأرض قد تكون بمثل هذه العمليات ، وكيف تتم هذه العمليات ؟

هناك مذهبان في التفكير في هذا الصدد . ويعتقد أصحاب المذهب القديم أن الجرانيت هو العامل المساعد في عمليات التجرت المحلي ، بينما يذهب المعارضون ، أى أصحاب المذهب الثاني ، الى أن الجرانيت ما هو الانتاج النهائي لعملية التجرت . ويعتقد الفريق الاول أن الكتل الجرانيتية في الحالات النموذجية ليست أكثر من أجزاء من الجرانيت الابتدائي بقشرة الأرض ، وأن هذه

الأجزاء قد انصهرت في أماكنها مرة ثانية ثم وصلت الى مواضعها الحالية بازاحة الصخور الأخرى ميكانيكيا ، وينفي هذا الفريق جدوى عملية التجرت الكيميائي مصادفة عند أطراف الكتل الجرانيتية . ويرى الفريق الثاني أن القشرة الابتدائية للأرض كانت مكونة من البازالت وأن الكتل الجرانيتية قد نشأت من تحول الطبقات الرسوبية . ويفترض هذا الفريق أن العملية تجري كما يلي : أيان تنشأ الجبال ذات الطيات عند السطح بسبب تمزق القشرة الأرضية ، وتولد الاجهادات والحرارة الاحتكاكية عند المستويات العميقة ، فان الغازات الساخنة والمحاليل التي تحمل السيليكا والقلويات وغيرها من العناصر تنبعث الى السطح من الأجزاء العميقة من القشرة أو من الطبقات الواقعة تحتها . وهذه « الانبعاثات » تحول البازالت الى صخور أكثر توفرا بالسيليكا ، وتحول الطفل والاحجار الرملية الى صخور « الشست » و « النيس » وفي النهاية الى جرانيت .

وبما أن هذا الجدل دقيق الصلة بوجهة النظر الحديثة عن قشرة الأرض ، فلنناقش الادلة التي تؤيد أن الجرانيت نشأ عن عملية التجرت . وأول دليل هو أنه إذا كان المباد الجرانيتية مجرد أجزاء من القشرة الابتدائية السائلة المائلة لكانت هذه المواد خليفة بأن تتواجد خارج مناطق الاحزمة الجبلية كما هو الحال في البازالت وما يت الىه من الحمم البركانية . غير أننا لا نعثر أبدا على الجرانيت خارج مثل هذه الاحزمة . ويفسر أصحاب المذهب التقليدي ذلك بأن المواد السائلة المنصهرة لزجة جدا بحيث لا تتحرك بسهولة مثل المواد المافية المنصهرة . والمنصهرات السائلة لزجة حقا ، ولكن اذا كانت الزوجة هي التي

نستعيا من أن تتحرك مثل اليازالت ، فلماذا ينتج الجرانيت في التسرب الى الفجوات الشعرية الموجودة بالصخور الرسوية ليحولها تحويلا كيميائيا ؟ ولا يمكن أن نجد وجها للمقارنة في حالة اليازالت الاقل لزوجة عندما يتخلل الطبقات الرسوية ؟ فمن أبعد الاحتمالات أن تسرب المواد الجرانيتية المنصهرة يحدوها شيء من العنف داخل طبقة أثر أخرى ، خلال طبقات شست الميكال الرقيقة (وهى ضرب نموذجي من الصخور المتحولة) . لكي تكسبها هذا التركيب المميز لها .

وفي حوزة المؤلف عينة من الصخر تين أن عملية التبلور يمكن أن تنشأ عنها تلك العلاقات التركيبية المميزة والتي نجدها بين الجرانيت الدخيل والصخر الذي أقحم الجرانيت عليه ، وهو في حالتنا هذه طفيل متحول . وتحتوى عينة الصخر على رقائق جرانيتية تبدو كما لو كانت قد حُفَّت بين طبقات الطفل ، وسدود تفترقها متعامدة أو في اتجاه الوتر . وتتصل الرقائق والسدود بالجسم الاسلي للمادة التي تبدوا أنها داخلية . غير أن دراسة المنطقة تين بشكل قاطع أن عينة الصخر الموجودة لدى المؤلف لم تقحم عليها مادة ما أو تحقن بطريق العنف بمادة سائلة . وفي حقيقة الامر ، لم يكن هناك انصهار على الإطلاق ، فهذه المادة الخفيفة عبارة عن طفيل تبلور تحت تأثير الحرارة التي استمداهما من طبقة من اليازالت .

في هذه العينة تمثل عقدة مشكلتنا . وكما أن أحدا لا يعترض على عملية التجرفت على نطاق ضيق ، غير أن معظم الجيولوجيين وقسوا حائرين عند تطبيق هذه العملية على الكتل الجرانيتية

الكبيرة . ذلك بالرغم من أن جميع تفاصيل نموذجنا المصغري يمكن أن تتسق على أى نطاق تقريبا فى المناطق الجرانيتية النموذجية . ونحن مقيدون بالمدى الذى تجرى عليه العملية المطلوبة .

ومع كل فائنا نواجه حقيقة لا محيص عنها ، تلك هى أنه فى جميع الاحزمة الجبلية قد ظهرت ساحات جرانيتية مترامية الأطراف فى نفس المواقع التى اختفت فيها ساحات كبيرة من الطبقات الرسوبية ، وفى معظم الأماكن نجد أن نظام تركيبها يدل على أن ازاحة الرواسب بطريقة ميكانيكية أمر بعيد الاحتمال جدا ، ان نم يكن مستحيلا . وعلاوة على ذلك فان هذه الكتل الكبيرة من الجرانيت البديلة لا توجد الا فى هذه الأماكن من قشرة الأرض (أى الاحزمة الجبلية) حيث تمت تشكيلات ميكانيكية ضخمة هذه العمليات لا بد أن تولد عنها حرارة ، وأن تحدث فى الصخر ممرات تسرب فيها « الانبعاثات » التى يعتقد أن لها دورا فى عملية التجزئ .

وهناك أخيرا تلك الحقيقة الغريبة ، وأعنى بها أن ما يزيد على نصف القشرة الأرضية — تحت البحار — ليس بها فى الظاهر طبقة جرانيتية سطحية . وعلينا نحن معشر الجيولوجيين مواجهة ايضاح سبب عدم وجود هذا الجزء الكبير من مادة تصودنا أن نعتبرها جزءا عاما من المواد التى كانت تكون القشرة الأرضية . ولقد بدأ كثير منا يعتقد أنه من الاجدر بنا أن نسأل « لماذا يوجد الجرانيت بالقارات ؟ » بدلا من أن نسأل « لماذا لا يوجد الجرانيت فى قاع المحيطات ؟ » .

و يبدو للمؤلف أن هذا الجدل قد بلغ من الوجاهة حدا يحلنا

على أن نعيده اهتمامنا . ومع كل فعلية التجرت على نطاق عالمي شامل لا تزال مجرد فكرة جريئة . و « الانبعاثات » من تحت القشرة الأرضية أمر غامض لم يحز بعد قبول التفكير الجيوكيميائي ، ولا يقره بعض الأتقاء في علم الصخور : غير أن معلوماتنا عما يحدث للمواد تحت الضغوط وعند درجات الحرارة الشديدة الارتفاع لا تزال في دور البدء ، والحقائق المتجددة التي يكشف عنها الجيوفيزيائيون تجعل نظريتنا عن المادة المجهولة تحت القشرة في تغير مستمر . ويبدو حاليا كما لو أن فكرة التجرت تلائم اللغز المعقد لتكوين القشرة أكثر مما تلائم النظرية التقليدية .

لقد ناقشنا التغيرات في القشرة الأرضية التي تقع في منطقة الاجزما الجبلية الحديثة . وتبين مساحات الطبقات الرسوبية بالقارات بطريقة غير مباشرة أن ثمة تغيرات في القشرة ، وما ينجم عن هذه التغيرات من تحركات في هذه القشرة ، يحدث حتى خارج هذه الاجزما . وتتموج أسطح هذه المساحات من الطبقات الرسوبية في القارات وتشاهد بها منخفضات غير منسقة تفصل بينها مرتفعات معتدلة . وتتوسط النصف الشمالي للقارة الأمريكية عدة منخفضات (مثل منخفض ميتشيجان وإيلينوى - كينتوكي) ويبلغ قطرها بضعة مئات الأميال ويبلغ عمقها ميلا أو ميلين (انظر الشكل (٧) . أما المرتفعات التي تفصلها فيعتبر «سينسيناتي أرك» خير مثال لها .

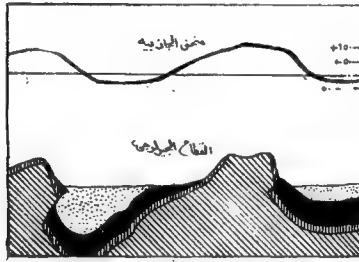
وفن لم نقول بعد أسباب هذا التموج الا القليل من اهتمامنا وكنا نميل الى أن نعزو ذلك الى الطبقات الرسوبية اذ كانت النظرية السائدة هي أن القشرة الأرضية أسفل القارات ضعيفة لدرجة أنها تتداعى من جراء الانقال المحلية ، وعلى هذا فان ثقل الرواسب

المتراكمة فوقها يجعلها تغور الى أسفل مكونة المنخفضات . غير أن
 انبيانات العديدة التي حصلنا عليها بقياس الجاذبية في الاعوام
 المنصرمة تدل دلالة قاطعة على أن القشرة المذكورة أقوى كثيرا
 مما كنا نفترض . ويسود التوازن الاستاتيكي بمعناه العام فقط
 في المساحات المترامية الاطراف . فلو كانت القشرة ضعيفة لكان
 كثير من المنخفضات الصغيرة وخاصة منخفضا « بيج هورن »
 و « بودر ريفر » بمنطقة روكي ماوتن « أكثر ارتفاعا مما هي عليه
 الآن ، اذ أن وزنها خفيف نسبيا ، ولرأينا المناطق الجبلية المتاخمة
 أقل ارتفاعا اذ أن وزنها أكثر من اللازم . وفي هذه الحالات لابد
 أن تكون القشرة من القوة بحيث تتحمل الاجهادات المحلية
 الكبيرة . وهناك أدلة على أنه بالنسبة لأكبر منخفضات وسط
 القارة الامريكية ، لا يمكن أن نعزو وجودها الى الرواسب
 الموجودة بها . ولابد أن يكون هبوط سطح الأرض التي تتكون
 عنده المنخفضات ناشئا عن عمليات تقع عند الاعماق . والى أن
 نعرف ماهية هذه العمليات ، لا يمكننا أن نؤمل في حل أكبر
 المشاكل جميعا ، ألا وهي كيف تكون قاع المحيطات .

ويقع سطح صخور ما قبل العصر الكمبري في المنخفضات
 الصغيرة من الطبقات الرسوبية في القارات عند عمق يتراوح بين
 ميل وأربعة أميال تحت سطح البحر ، وتلك هي أعماق المحيطات .
 فهل يعنى هذا أن بعض أجزاء القاع الحديث للمحيط لا تعدو أن
 تكون أجزاء من قارات قديمة هبطت الى أسفل ؟ بهذا السؤال
 نعود الى تركيب القشرة الارضية تحت المحيطات .

على سواحل القارات الممتدة حول المحيطات الاطلنطى والهندي
 والتمجد الشمالى والجنوبى وعلى بعض سواحل المحيط الهادى

تعتمد المعالم التركيبية للقارات الى ما تحت البحر كما لو كان السطح حقا قد اعنراه انحناء أو انشطار . وتنتهى هذه المعالم انهاء مفاجئاً في الخريطة الجيولوجية . واثك لتجد على الضفتين المتقابلتين للمحيط نفس الأنواع أو أنواع متشابهة من الكائنات البحرية التى تعيش بالمياه الضحلة ، ومن الحيوانات والنباتات الأرضية . مما يدل على أن هاتين الضفتين كانتا متصلهما من قبل مياه ضحلة أو أرض يابسة حيث يوجد الآن البحر العميق . وقد دعت مثل هذه المشاهدات كثيرين من الجيولوجيين في القرن التاسع عشر الى أن يستنتجوا أن أجزاء كبيرة من القارات أو قارات بأكملها قد هبطت خلال التاريخ الجيولوجى الى أعماق المحيط .



الشكل (٨)

تدل الشواهد في الاتزان الاستاتيكي فوق منخفض « بيج هورن » (الى اليسار) وجبال « بيج هورن » (في الوسط) على حدوث عمليات عند الأعماق أدت الى تعرج سطح صخر الأساس (الغلاف بطوط مائلة) . والشكلود في الاتزان الاستاتيكي هو الاختلاف عن القيمة المتوقعة للجاذبية (مقاسة بالمليجبال عند القمة) بعد ادخال تصحيح تساوى ضغط القشرة عند عمق معين . وبين منحنى الجاذبية أن المنخفضات أخف مما يجب وأن السلسلة الجبلية أثقل مما يجب .

وفي عام ١٨٤٦ اقترض الجيولوجى الأمريكى جيمس د. دانا (James D. Dana) لأول مرة عكس هذا الرأى : ذلك أن القارات قد ظلت شامخة منذ فجر التاريخ الجيولوجى . اعتقد دانا

أن القارت كانت جزءا من القشرة التي تجملت في وقت مبكر ، ومن ثم كانت أكبر سمكا ، وعندما تقلصت الأرض لم تنقص القارات الا قليلا ، بينما تكونت المحيطات في الاجزاء التي كانت قشرتها أقل سمكا . وفيما بعد ، حين أصبح معلوما أن البازالت هو الصخر الغالب في جزر المحيطات ، بينما يغلب وجود الجرانيت في القارات والجزر القريبة منها ، توصل كثير من الجيولوجيين الى نفس استنتاج دانا : غير أنهم بنوا استنتاجهم على أسباب تختلف عن تلك التي استند اليها دانا . ولما كانت أجزاء القشرة تبدو في توازن ثاقلي ، فقد اعتقدوا أن قاع المحيط منخفض لأنه يتكون من صخور ثقيلة ، بينما ترتفع القارات لأنها تتكون من صخور خفيفة ، ومتى تكونت القارة ظلت على الدوام قارة كما هي . غير أن هذا يدعنا أمام عالم من الحقائق المفتقرة الى تفسير ، وهي حقائق قادت آخرين الى عكس هذه الاستنتاجات .

منذ ٤٠ عاما وضع أستاذ الفيزياء الارضية الالماني . ألفريد فيجنار (Alfred Wegener) نظريته الخارقة عن ازاحة القارات . فقد افترض في بساطة ، متجاهلا كل الأدلة الفيزيائية والجيولوجية الممكنة ، أن البازالت في قاع المحيطات من الضعف بحيث لا يستطيع مقاومة التشكل بفعل القوى مهما تاهت في صغرها . ولهذا يتسنى للكتل الجرانيتية بالقارات أن تزاح وهي عائمة في بازالت قاع المحيط كأزاحة قطع الثلج في الماء . وفي رأى « فيجنار » أن البحر يفصل بين كتل كبيرة من اليابسة كانت متصلة من قبل ، وأن البازالت الصلب الموجود الآن بقاع البحر كان يطفو من قبل في غير مرونة في الحيز الذي يشغله الآن . وقد أطلق « فيجنار » العنان للخيال في كتابه الذي يعتبر آية في الحجة والاقناع :

وبضربة واحدة جريئة يبدو أن « فيجنار » وجد حلا لعدد من المشاكل المهمة في جيولوجية العالم . وقد كانت لاعمال فيجنار آثارها في أن تقرب الى أذهان كل من يعينهم الأمر مبلغ حاجتهم الى الجديد والدقيق من المعلومات عن الخواص الفيزيائية للصخور ؛ وطبوغرافية قاع المحيط وتركيب طبقاته . وقد بدأنا نحصل على بعض المعلومات البالغة الاهمية عن جيولوجية قاع المحيط وذلك بفضل الاعمال التي تجريها نخبة قليلة من جهابذة الباحثين الكفاء ، في مقدمتهم « ف . أ . فيننج ماينز » الهولندي و « موريس ايوينج » من جامعة كاليفورنيا .

وفي الاعوام الاخيرة قبيل الحرب العالمية الثانية ، عنى «ايوينج» بتحديد كيفية اتصال القشرة الجرانيتية في القارة الامريكية الشمالية بقاع البحر العميق على امتداد الحدود الغربية لشمال حوض الاطلنطي . فعند الساحل الاطلنطي للولايات المتحدة ينحدر قاع البحر في أول الأمر انحدارا بطيئا جدا مكونا رفقا قاريا (Continental Shelf) يصل عمقه عند حافته الخارجية الى حوالي ٣٦٠ قدما تحت سطح البحر ، وعلى بعد يتراوح بين ٦٠ ، ٨٠ ميلا من «نيوجيرسى» و «ماريلاند» . وبعد الحافة ينحدر القاع انحدارا كبيرا نسبيا (بمعدل حوالى ٤٠٠ قدم لكل ميل) نحو أعماق البحر مكونا المنحدر القارى .

سؤالان واجههما ايوينج : (١) ما الذى أقام الرف القارى ؟ (٢) الى أى شئ تؤول القاعدة المتبلورة السيلية (الجرانيتية) عندما يتجه المراء نحو أعماق المحيط ؟ افترض «فيجنار» أن القشرة الجرانيتية القارية تنتهى عند الحافة الخارجية للرف ، وهى الحد الفاصل الذى عنده انتزعت من القارة الاوروبية . واذا كان هذا

صحيحاً فلا بد أن القشرة تحت الرف تتكون من صخور الأساس.
وتغطي هذه الصخور قشرة رقيقة من الرواسب الحديثة ، وينتهى
هذا التركيب نهاية مقتضبة .

وللاجابة على هذا السؤال المزدوج ، استخدم « ايونج »
الطريقة السيسمولوجية للرصد تحت البحر بعد أن أدخل عليها
كثيراً من الأفكار الفذة في حد ذاتها قصة مثيرة . وقد بين «ايونج»
أن القاعدة الجرانيتية لا تنتهى عند الرف القارى ، بل تستمر
منحدرة الى أعماق تناهز الميلىن تحت سطح البحر . كان هذا
اكتشافاً ذا أهمية بالغة اذ بين أن الصخور البلورية الكائنة عند
حافة القارة ، لها نفس صفات الصخور القديمة بالدرع القارى ،
وأنها تنحدر مكونة حوض البحر بنفس الوقت التى ينحدر بها
الدرع القارى مكوناً منخفض ميثشيجان الذى يتوغل الى مسافة
٧٠٠ ميل وسط القارة . وتغطي الرواسب القاعدة المنحدرة
لشمال الاطلنطى كما هو الحال فى منخفض ميثشيجان . وهذه
الرواسب امتداد للتركيب المشاهد فى السهل الساحلى . ويثبت
هذا الكشف أن أجزاء من البحر العميق ربما كانت من القشرة
القارية ثم هبطت الى مستو منخفض وظلت حيث هى . والمفروض
أن هذا قد تم بواسطة نفس العمليات المجهولة التى تكونت بها
المنخفضات داخل القارات .

كم جزءاً من قاع المحيط الاطلنطى له مثل هذا التاريخ ؟ لعل
خير ما نجيب عليه فى وقتنا هذا هو أن جزءاً صغيراً فقط من
« الحوض الأمريكى الشمالى » للمحيط الاطلنطى يحتمل أن
يتوسد النوع القارى من المادة القشرية . ويتعارض هذا رأى مع

المعتقدات السائدة. فسرعة انتقال أمواج الزلازل عبر قاع المحيطات توحي بأن كل قاعات المحيطات ، فيما عدا الجزء الأوسط من المحيط الهادئ ، تغطي طبقة من الجرائت لا يعدو سمكها مئة أميال . بيد أن « ايونج » ومناعديه استنبطوا نظرية جديدة لانتقال الموجات السطحية للزلازل على طول قاع المحيط ، وهذه النظرية ولو أنها لا تستلزم نفي وجود المادة القشرية « القارية » فوق قاع المحيط الاطلنطي الشمالي ، الا أنها تعتبر وجودها امرا غير لازم . وقد أثبتت الأرصاد السيسمولوجية المباشرة لانكسار الموجات والتي أجراها ايونج مؤخرا عند أكثر من اثني عشر موقعا في المحيط الاطلنطي الشمالي أن السرعات المشاهدة هي السرعات التي تتميز بها الصخور البازلتية . وعلاوة على ذلك فقد أدت قياسات الجاذبية التي أجراها « فيننج ماينيز » عبر شمال الاطلنطي الى نفس النتائج : وتدلل تلك القياسات على وجود شواذ موجبة تثبت عد موجود مادة جرائتية خفيفة .

ومن هذه الاعتبارات يبدو ممكنا أن القشرة الكائنة تحت شمال الاطلنطي وتحت أجزاء كبيرة من المحيطات الأخرى تكون كلية من البازالت دون أي مادة سيالية . ومما يذكر أن « فيجنار » بنى نظريته عن ازاحة القارات مقترضا صحة هذه الحالة . ولكن ما هي خصائص هذا البازالت ؟ فالبازالت ، طبقا لنظرية « فيجنار » لا بد أن يكون ضعيفا بحيث يتداعى أمام الضغوط الصغيرة جدا . وهذا يعني أن البازالت لا بد أن يتكون أساسا على شكل مسطح : فهو لا يقوى على تحمل وزن التلال والجبال . فما هي الحقائق التي لدينا ؟

في صيف عام ١٩٤٧ بدأ « ايونج » في اعداد خريطة منظمة

لطبوغرافية قاع شمال الاطلنطى مستخدما أجهزة صوتية حديثة ،
 يستقبل بها صدى الصوت فى باخرة الابحاث «اتلاتس» . وماكنا
 نعلمه من قبل بوجه عام يدعمه هذا البحث بنوع من التفصيل
 الدقيق : ذلك أن سطح قاع البحر هو على العكس تماما مما تتطلبه
 نظرية « فيجنار » . فقاع المحيط ذو طبوغرافية وعرة . فمن السطح
 المنبسط لحوض أمريكا الشمالية عند قاع الاطلنطى الذى يزيد
 عمقه على خمسة أميال تحت سطح البحر ، ترتفع جبال عالية
 (جبال بحرية) يصل ارتفاعها فى بعض الحالات الى أكثر من
 ٦٠٠٠ قدم . وكثير من هذه الجبال الواقعة تحت سطح البحر ذات
 قمم مدببة ، بينما تستوى قمم بعض الجبال الأخرى . وفى المنطقة
 الواقعة بين ايسلاند جنوبا ، والمحيط المتجمد الشمالى ، يمتد
 تحت البحر حزام من الجبال المعقدة تعرف باسم « جرف الاطلنطى
 الاوسط » ، والجزء الاوسط من هذا الجرف على شكل ربوة
 وعرة يتراوح عرضها بين ٦٠ ميلا ، ٢٠٠ ميل ، ولها قمم ترتفع الى
 أقل من ميل واحد تحت سطح البحر . وعلى جانبى هذه الربوة
 يمتد طرفا الجرف فى أسطح مائلة تتوسدها طبقة سميكة من
 الرواسب غير المتماسكة توحي بوجود فوالق بين كتلها المائية .
 وقد استخرج ايونج كتلا بازاليتية كبيرة من سفح مرتفع بحرى
 شديد الانحدار ، لا يبدو أن يكون سطح انقلاق — وهناك من
 المعالم الأخرى فى الاطلنطى الشمالى ما يوحي بأنها ناتجة عن
 تصدع . ومن المحتمل أن حافة الرف القارى قد نشأت عن منطقة
 تصدع هبط أزاءها الى مستوى قاع البحر العميق النصف الثانى
 من حوض الترسيب الذى افترضه ايونج فى قطاعاته المستعرضة .
 وتلك الصورة كبيرة الشبه بما يتميز به قاع المنطقة المتوسطة

الكبرى بالمحيط الهادئ ، الذى يبدو أنها تكون كلية من البازالت وما اليه من الصخور . فقد عثر هناك على كثير من الجبال ذات القمم المستوية . وجزر هاواى ليست الا قمم لسلسلة بازالتية كبيرة تتصاعد الى ما فوق مستوى سطح البحر من قاع المحيط الذى يزيد عمقه على ثلاثة أميال . ونوحى طبوغرافية قاع البحر المحيط بالمنطقة بأن قوى المرونة بالقشرة هى التى تتحمل ثقل سلسلة الجبال البحرية ، وهى حالة تشبه الى حد ما حالة الوزن الذى تتحمله طبقة من الجليد تغطى جسما من الماء . وتلك القابلية على تحمل الاثقال الكبيرة المحلية تدل على وجود قشرة سميكة قوية - وذلك بمكس الشروط التى يتطلبها « فيجنار » .

وموجز القول هو أن كل ما نعلمه الآن عن شكل قاع المحيط وتركيبه يثبت اثباتا جازما أن نظرية « فيجنار » عن ازاحة القارات قد تداعت من أساسها . كما يوحى أيضا بأن « دانا » لم يجانبه انصواب حين أعلن أن القارات تكونت فى الاجزاء الغليظة من القشرة . والواقع أن القشرة تحت القارات تبدو أقل سمكا وأضعف منها تحت البحار .

وتعتبر القشرة تحت المحيطات جزءا من الأرض الصلبة فهى بمثابة « الدرع » ، حكمها فى ذلك حكم القشرة الكائنة أسفل القارات ان لم تكن أقرب الى هذا الفرض . واذا كانت هذه هى الحال ، فإن العمليات التى تجرى بالقشرة فى الجزء القارى ، لا بد أن تكون جارية أيضا بالقشرة البحرية . ثم هل يمكننا فى ضوء هذه العمليات أن نقرر التباين بين مستوى سطح الأرض ؟ ان المؤلف يعتقد أن ذلك فى الامكان . ولنبدأ بالنوعين الرئيسيين من

التشكل الموجود بالقارات اذ نجدهما أيضا في قاع المحيطات .
وأحد هذين النوعين هو تعاقب المنخفضات والمرتفعات . ويتميز
قاع الاطلنطي بتموج سطحه . فنجد « المنخفض - و المرتفع »
الذى تتسم به ، من ناحية المبدأ ، الهضبة الرسوبية في منتصف
القارة الامريكية الشمالية ، غير أن هذا التموج يتمثل على نطاق
أضخم في قاع المحيط . والنوع الآخر من التشكل هو ذلك الذى
تنشأ عنه سلاسل الجبال ذات الطيات . وأكبر ما تطورت اليه هذه
العملية على وجه الأرض يتمثل فيما نجده على طول ساحل المحيط
الهادى ، وعند قاع النصف الغربى من المحيط نفسه ، فهناك تتكون
السلاسل الكبيرة لجزر المحيط الهادى من قمم الجبال الواقعة
تحت الماء . وتتميز هذه السلاسل من الجبال البحرية بأنها طويلة
وضيقة وغير متناسقة ، وتحاذيها عن قرب أخاديد عميقة ضيقة تقع
على جانبها الاكثر انحدارا . ويرى هذا النوع من التشكل بوضوح
في سلاسل الجزر بالجانبين الشمالى والغربى للمحيط الهادى وفى
الكورديلليرات الكبيرة بأمريكا الوسطى والجنوبية ، مصحوبة
بالأخاديد المتباعدة عن الشاطئ والواقعة بأعماق المحيط . وتعتبر
الاحزمة الجبلية التى تحيط بالمحيط الهادى بهذا لاكثر من ٤٠ ٪
من الزلازل الارضية القريبة من السطح ، وحوالى ٩٠ ٪ من
الزلازل التى صدرت من أعماق متوسطة ، وجميع الزلازل الصادرة
من أعماق كبيرة . ومن ثم فإن عملية تكوين الجبال تجرى هنا الآن
بنشاط على نطاق واسع . (انظر الجزء التالى عن « أخاديد المحيط
الهادى ») .

وخير مثال لتلك المرتفعات الفعالة الحديثة ربما يكون الحزام
انجلى الجبار الممتد تحت البحر من اليابان فى الشمال عبر

« البونيز » و « مارياناس » ثم الى « بالو » في الجنوب ، وهي منطقة تضارع الهيمالايا طولاً وارتفاعاً . وتعرف بعض قمم هذه المنطقة بأسماء جزر « أيوجينا » ، و « سايبان » ، و « جوام » ، و « ياب » . وتجد في هذه المنطقة نفس المنظر غير المتناسق ، ونفس الاخاديد الواقعة بأعماق المحيط على طول جانب المنطقة الشديدة الانحدار ، ونفس سلسلة البراكين بالجانب الخلفى الاقل انحداراً فهي تمثل أنشط المرتفعات المثيرة على المحيط الهادى من القارات المحيطة به . غير أن تلك المنطقة تختلف في أمرين هامين : (١) فهي ترتفع على انفراد فوق قاع المحيط العميق . (٢) والصخور المتحولة الوحيدة التى أمكن العثور عليها في الكتلة الصخرية هي صخور مشتقة من البازالت أو من أنواع أخرى من الصخور البحرية الغنية بالحديد والمنغنسيوم أكثر من البازالت نفسه . ويبدو أنه لاوجود للأنواع الأخرى من الصخور المتحولة التى تتميز بها القارات (وهي تلك الصخور المشتقة من الطبقات الرسوبية العادية ، مثل الطفل والحجر الرملى) . فهنا اذن منطقة جبلية حديثة يبدو أنها نشأت نتيجة لتشكيل قاع المحيط ، وهي تضارع في ضخامتها أى منطقة جبلية أخرى على اليابسة :

نفترض أن المحيط غير موجود وأنا قف فوق القاع المنخفض للمحيط الهادى متجهين بأنظارنا غرباً نحو هذه المنطقة الجبلية المتشامخة . فمن ورائها غرباً يقع سهل بحرى يمتد الى أكثر من ٦٠٠ ميل . وعند الطرف الاقصى من هذا السهل ترتفع بنفس الطريقة تماماً سلسلة الجبال الضخمة التى تؤلف جزر الفيليبين ،

ومن خلفها تبرز حافة القارة الآسيوية نفسها ، مغطاة برواسب حديثة . وقد يبدو غير ذي موضوع بعد هذا التصوير ، أن يتساءل الانسان : « كيف تسنى لبحار المحيطات أن تكون ؟ » ، وقد يكون من الافق أن يستعيز عنه بالاستفسار « كيف تسنى للقارات أن تقوم في مقامها ؟ » .

من وجهة النظر هذه ، يصبح التغير « حوض البحر » غير ذي معنى ، ويمكننا الآن أن ننظر الى القارات بوضوح على أنها أحزمة تشكيلية اعترت سطح الأرض وتكونت على فترات خلال الأزمنة الجيولوجية ، واتصلت بعضها ببعض الآخر بطرق شتى وتكون المساحات البحرية ، من الناحية الأخرى ، هي الجزء من سطح الأرض الذي لم يطرأ عليه تغير . وتلك المساحات تغطيها القشرة البازلتية الأولية ، تعلوها هنا وهناك طبقة رقيقة من الرواسب المختلفة .

يختلف هذا الاستدلال كثيرا عن النظريات الجارية . والغرض من ذكره هو أن نبرز الاتجاهات الفكرية الجديدة الممكنة ، وأن نقترح أماكن محددة يمكن أن تكون حقا لاختبار هدم الأفكار اختبارا منظما يتولاه الجيوفيزيائيون والجيولوجيون .

وأخذ هذه الأماكن المحددة هو حزام الجبال ذات الطيات — « بوتينز — مارياناس — بالان » وبالزعم من أن عشرات الآلاف من الأميال المربعة من القشرة تقع غرب هذه المنطقة عند مستوى قاع البحر العميق ، فإن الرأي السائد الآن هو أن تلك المنطقة تحدد موقع الحافة الخارجية الشرقية للنوع « القاري » من القشرة المنتمى الى الجرانيت في نصف الكرة الباسيفيكي واستخلص هذا

الاستنتاج من الدراسات التي أجريت على الأنواع الشائعة من الحمم البركانية التي تدفقت من البراكين العديدة بحزام الجزر . فالصخور المتكونة من هذه الحمم ، هي المعروفة باسم « الانديسايت » ، وتختلف في تركيبها المعدني عن أى نوع من الصخور التي يمكن اشتقاقها من بازاليت المحيط الهادى . وتتميز هذه الصخور بارتفاع نسبة السيليكات بها . والرأى السائد في تفسير ارتفاع نسبة السيليكات بتلك الصخور واحتوائها على بعض المواد البازالتية ، هو أن صخور الانديسايت هذه قد نشأت عن اختلاط الحمم البركانية البازالتية بالمادة الجرانيتية الموجودة في الجرانيت الابتدائي التي يفترض أنها تغطي سطح القشرة حيث توجد الانديسايت . وهناك نفس النوع من الاستدلال الذي يزعم بوجود طبقة من الجرانيت الابتدائي ويفسر وجود الأجسام الجرانيتية بالرواسب المتحولة في الأحزمة الجبلية القارية .

يبد أننا رأينا هذا التفسير يقابله تفسير آخر لوجود الأجسام الجرانيتية في الرواسب القارية - وهذا التفسير هو تحمول أو تجرت الرواسب بسبب انبعاث السيليكات وغيرها من العناصر من المستويات العميقة . ومن الممكن أن نعزو تكون الانديسايت الى نفس النوع من النشاط ، أى أن ما يسمى آ بتلوث « مصدر المادة البازالتية قد يعود الى أن السيليكات وغيرها من العناصر قد تدخل على التركيب بنفس الطريقة ولنفس الأسباب كما تفعل في عملية التجرت . وعلى هذا فإن حمم الانديسايت البركانية في المحيط الهادى قد لا تكون صورة أستانيكية لمخلفات الماضى فحسب ، ولكنها تمثل جبهة ديناميكية تجرى فيها بنشاط صياغة القشرة البازالتية القديمة في قوالب أطناف جبلية حديثة .

وعلى هذا فإن غرب المحيط الهادى يجتاز طورا صالحا لاختبار ثمار تطور القشرة اختبارا دقيقا . ويجب أن تجرى عملية مسح المنطقة للحصول على صورة مناسبة لطبوغرافية قاع المحيط . ويجب إجراء أرساد سيسمولوجية ومغناطيسية وثقافية من أسطح السفن ومن الغواصات للكشف عن طبيعة القشرة فى المناطق الجبلية الواقعة تحت الماء وعلى جانبي هذه المناطق ، ويجب أخذ عينات الصخور من المنحدرات العميقة الواقعة تحت الماء . ولابد من دراسة تركيب الجزر وصخورها دراسة وافية ، كما يجب تحليل الخواص الفيزيائية والكيميائية للعناصر الملائمة فى حالتها الغازية والمنصهرة والذائبة .

مما تقدم نرى أن معلوماتنا عن تركيب القشرة الواقعة تحت القارات لا تزال محدودة ، وهى أكثر ضئالة بالنسبة للقشرة تحت البحر . فكل آرائنا قد بنيت ، بحكم الضرورة ، على بيانات غير وافية لا يمكن الركون إليها . وهى لا تخرج عن كونها نظريات اجتهدية تقتصر الى الاختبار . ومع كل فلايد أن تكون لدينا نظريات لنختبرها ، ويجب أن نوالى السعى لتربط بينها فى صورة منسقة عامة تبين الصلة بين جزيئاتها وبين مجموعها .

وفى ما يلى نعمل الصورة التى يمكن أن نستخلصها عن قشرة الأرض من الأرساد والأفكار الواردة بهذا الجزء من الكتاب :

إن الطبيعة المعقدة للقشرة الأرضية تحت القارات ناتجة من الطيات الكبرى التى تمرى القشرة ، ونعنى بها تكوين المرتفعات والمنخفضات التى امتلأت بالرواسب . وقد نشأت جذور الجبال من المنخفضات الممتلئة بالرواسب نتيجة للضغوط الواقعة على هذه الأحزمة ، والتى تولد عنها أيضا نشاط العمليات الفيزيائية والكيميائية التى أحالت جزءا من الرواسب الى صخور متحولة ،

وفي النهاية الى جرائنت . والفكرة التي توحى بأن صخور القشرة الأرضية تتواجد في طبقات أفقية ، ليست الامحض ادراك احصائي لا يمثل حقيقة الطبيعة المعقدة لتركيب القشرة .

أما الدروع وامتداداتها تحت الهضاب الرسوية في القارات فهي عبارة عن الاجزاء التي خلقتها عوامل التعرية من المناطق الجبلية ذات الطيات القندية ، وعلى هذا فان مستواها مقترن بمستوى البحر . ويدل وجودها على أن موقع مستوى سطح البحر بالنسبة لليابسة لم يتغير تغيرا جوهريا منذ العصر الكمبري . وقد تفرجت أجزاء من السطح القاري القديم الذي يرجع الى ما قبل العصر الكمبري ، مكونة مرتفعات ومنخفضات ، وقد هبط القاع في بعض هذه المنخفضات الى أعماق تناهز أعماق المحيطات . وقد جلبت عملية تكوين الأحواض بعض القطاعات الجرائنتية القارية الى أعماق المحيط ، وذلك في المناطق الواقعة بين المساحات القارية والبحرية النموذجية . ومن الناحية الأخرى ، نجد أن تشكيل القشرة قد نتجت عنه أحزمة من مناطق الجبال ذات الطيات سواء من القشرة البازالتية الواقعة تحت قاع البحار أو الميسيتويات القارية . والعمليات التي يرجع اليها وجود القارات لا تزال دائبة النشاط على حدود المحيط الهادئ وفي داخل الجزء الغربي من المحيط .

هذه الخلاصة العامة ليست الا الاطار الذي يجب أن تنسق فيه ما نعلمه من الحقائق عن تركيب القشرة . فهي تحدد الغرض من بعض الأسئلة الهامة التي تقتقر الى الجواب ، كما تبين الامكانيات المثيرة للعمل في إحدى الجبهات الكبرى للعلوم الحديثة ، وأغنى بها جيولوجية الأجزاء العميقة من القشرة الأرضية .

أخاديد المحيط الهادى

بقلم

روبرتل. فنشور وروبر ونبل

فى ٢٨ أبريل سنة ١٨٧٩ بينما كانت السفينة الملكية «باوتى»
تعبّر المحيط الهادى ، نشب نزاع له ذكره بين قبطان السفينة
اليوزباشى ويليام بلاى William Bligh والضابط الاول
فليتشر كريستيان Fletcher Christian ، وعلى أثر هذا النزاع
اتفقت صحتهما واتخذ كل منهما سبيله فى اتجاهين متضادين فى
البحر ، فظل كريستيان على ظهر السفينة « باوتى » ، بينما استقل
« بلاى » قارب القبطان . وقد وقع هذا العصيان التاريخى بالقرب
من بركان « توفوا » الكبير بجزر « فريندلى » المعروفة الآن
باسم جزر « تونجا » ، والواقعة بجنوب غرب المحيط الهادى .
كان « بلاى » و « كريستيان » خيرين بمعالم هذه المنطقة من
المحيط وكانا يعلمان أن طبوغرافية أعماقها المحيطة بهذه الجزر
ليست عادية ، إذ أنها تغص بالمواقع الضحلة الخطرة والمرات الضيقة
التي تفصل بين الجزر . إلا أنه نظرا لأن الأساليب الصوتية

لدراسة أعماق البحار لم تكن قد اخترعت بعد ، فان هذين الملاحين لم يكونا على علم بمدى غرابة هذه المنطقة ، وبأنها سوف تؤدي يوما ما الى واحد من أهم المكتشفات في تاريخ دراسة البحار .

فمن تحت صفحة البحار الساكنة شرق جزر « تونجا » ، تنفجر في القاع هوة مروعة يناهز عمقها سبعة أميال . وبعد مائة عام من حادثة السفينة « باوتى » قامت سفينة بريطانية أخرى باختبار أعماق هذه المنطقة . وفي أثناء عملية مسح قاع المحيط حول هذه الجزر ، استرعى انتباه « بلهام أولد رتش » Pelham Aldrich . قبطان السفينة الملكية « أيجيريا » أنه في محاولتين متتاليتين لم يلمس ثقل المطمار قاع المحيط الا بعد أن تدلى خيط طوله ٢٤ ألف قدم . وقد دفع اكتشاف « أولد رتش » بلدا أخرى الى ارسال فرق أبحاث لدراسة هوة « تونجا » الواقعة تحت البحر . وأخيرا تمكن الدارسون لهذه المنطقة من تتبع أخدود كبير يمتد حوالى ١٠٠٠ ميل من جزر « تونجا » غربا الى جزر « كيرماديك » وأكبر عمق أمكن العثور عليه حديثا بالطرق الصوتية هو ٣٥٠٠٠ قدم ، وقد عثرت عليه باخرة الأبحاث « هورايزون » التابعة لمعهد «سكريس» لعلوم البحار . وتتوغل هذه الهوة تحت سطح البحر الى عمق يزيد عن ارتفاع جبال الهيمالايا بمقدار ٦٠٠٠ قدم .

وأخدود « تونجا - كيرماديك » ليس الا حلقة واحدة من سلسلة مترامية الأطراف من الأخاديد العميقة الضيقة التى تمتد شبيهة بالخنادق المائية حول الحوض المركزى للمحيط الهادى .

وهي جميعا تمتد موازية لأرخبيل (أى مجموعة الجزر) وسلاسل الجبال الواقعة على سواحل القارات . وتبلغ المسافة بين قمة جبال «الأنديز» الممتدة على ساحل أمريكا الجنوبية وبين قاع الأخدود المواجه للشاطئ أكثر من ٤٠٠٠ قدم . ولا يقل طول هذه الأخاديد أهمية عن عمقها ، وقد يصل طول بعضها الى ٢٠٠٠ ميل .

ولا تمت تلك الأخاديد بشبه الى أى من المعالم التى نألفها على اليابسة ، ولهذا فانه من المتعذر علينا ، نحن سكان اليابسة ، أن نجلو حقيقتها . وقد يتعذر على الانسان أن يتخيل هذه الهوة السحيقة على أنها من العمق بحيث تستوعب أكثر من سبع أمثال أعماق وديان اليابسة مجتمعة بعضها فوق بعض ، ومن الطول بحيث تصل بين مدينتى «نيويورك» و «كأنساس» . تلك هى مقاييس أخدود «تونجا - كيرماديك» .

وحجم أخاديد المحيط الهادئ وشكلها الغريب أمران يستثيران الدهشة . فبأى قوى عاتية نشأت مثل هذه التشكيلات فى قاع البحر ؟ ولم نشأت تلك الأخاديد بهذا الطول والعمق والضيق ؟ وماذا آلت اليه المواد التى أزيحت من جراء تكوينها على هذا النمط ؟ وهل هى قديمة العهد أم حديثة التكوين ؟ وما أهمية الحقيقة التى تستند الى وقوعها على امتداد «دائرة نار» المحيط الهادئ وأغنى بها منطقة البراكين النشطة والزلازل العنيفة التى تحيط بالمحيط المترامى الأطراف ؟

بالرغم من أن هذه الاخاديد لم تدرس بعد الادراسة تخطيطية ، فإن ما حصلنا عليه من معلومات حتى الآن يمكن أن يهديننا الى اجابات ، ما زالت عرضة للجدل والمناقشة ، عن بعض هذه الاسئلة .

ويمكننا أن نتخذ من أخدود « تونجا - كيرماديك » مثالا نموذجيا .

يمتد الأخدود من الشمال الى الجنوب في خط مستقيم تقريبا يقع شرق أرخبيل « تونجا وكيرماديك » وينعطف قليلا عند طرفه الشمالي . ويبدأ الأخدود من هذا الطرف منخفضا انخفاضا يسيرا على شكل ملقعة ، ويتخذ اتجاه الجنوب الشرقي بين « تونجا » و « ساموا » ، ثم ينحني مع ازدياد عمقه ويتجه جنوبا نحوا من ١٢٠٠ ميل ، وأخيرا يصبح ضحلا ثم يختفى عند نقطة تقع شمال نيوزيلاند . والأخدود ضيق جدا عند أعرق أجزائه الوسطى ، ولا يتجاوز عرضه عند هذه الأجزاء خمسة أميال . وتتخذ الهوة شكل الرقم ٧ ، غير أن ذراع هذا الرقم القريب من الجزيرة أشد انحدارا من الذراع المواجه للبحر . ففي الجدار الغربى المواجه لليابسة يتراوح الانحدار بين ١٦ ، ٣٠ ٪ . أى أنه يصل فى بعض الأماكن الى أكثر من ٢٤ ٪ وهو متوسط انحدار جوانب أخدود اليابسة العظيم عند « برايت انجل » ويتكون الأخدود فى القطاع الطولى من منخفضات عميقة تفصل بينها تتوءات بارزة ، ويبدو الأخدود على شكل حبات الخرز المنظومة فى خط .

وتبدو الجزر الواقعة عند الحافة الغربية للأخدود جزءا من التركيب القشرى - وتقع تلك الجزر فى صفين على ربوة يبلغ طولها ١٠٠٠ ميل ، وتقع عند قمة المنحدر الغربى للأخدود . وجزر مملكة البولونيز بتونجا مغطاة بطبقة من الحجر الجيرى المترسب فى المياه الضحلة خلال الحقبة الأخيرة من العصور الجيولوجية .

وترتكز تلك الجزر على أرفف مرجانية عريضة تقع تحت

سطح الماء على عمق يتراوح بين ١٨٠ ، ٣٦٠ قدما ، وترتفع على شكل سلسلة من المسطحات الى بضع مئات الأقدام فوق سطح البحر . وغرب الجزر المكونة صخورها من الحجر الجيري يقع منخفض ضحل ، تليه سلسلة من البراكين الواقعة تحت الماء والجزر البركانية المرتفعة . وتلك البراكين أقرب الى النوع النائر منها الى براكين « هاواي » الهادئة . ويعزى اليها وجود كميات ضخمة من الرماد الذى يغطى قاع البحر المحيط بها . وفى خلال المائة عام الأخيرة ثارت خمس من تلك البراكين ، مما اضطر حكومة « تونجا » الى اخلاء تلك الجزر من السكان تجنباً لأخطار ما قد يستجد من الانفجارات .

وتوجد تحت سطح الماء أيضا براكين نشطة ، من بينها « حافة فالكون » وهى ترتفع ، أثناء ثورة بركانها الى بضع مئات من الأقدام فوق سطح البحر . والواقع أنها تدعى عادة « جزيرة فالكون » . وعقب كل ثورة تعمل الأمواج على تعرية الجزيرة من الحمم البركانية ، فلا تمضى سنوات قليلة حتى يكون سطح الجزيرة قد هبط ثانية الى مستوى سطح البحر .

وقاع الأخدود « تونجا - كيرماديك » صخرى ، ويبدو عاريا تقريبا من الرواسب . وفى أثناء قيام بعثة « كابريكون » التابعة لمعهد « سكريبس » بدراساتها عام ١٩٥٢ - ١٩٥٣ طرأ خلل فى الآلة الرافعة واضطرت البعثة الى سحب جهاز أخذ العينات وما تصحبه من قنابل كبير من الرصاص فوق قاع البحر بضع ساعات قبل أن تتمكن من انتشاله ، وقد أخرج الجهاز وهو محطم تماما من أثر احتكاكه بالصخور الموجودة بقاع المحيط . أما الماسك

انصلب الثقيل الذى يسبق الجهاز فقد وجد منحنيًا من شدة ما أصابه من صدمات . كما بدا الثقل الرصاصى كما لو كان قد طرق بمطرقة وأزميل . وقد وجدت شظايا صغيرة من الصخر البركانى دقيقة فى الرصاص .

وقد اكتشف عند المنحدر الشرقى للأخدود مخروط بركانى وحيد يرتفع فى انحدار قليل الى مسافة ٢٧٠٠٠ قدم، حتى تصل قمته الى ما يقرب من ١٢٠٠ قدم تحت سطح البحر . وأسفل قمة هذا المخروط مباشرة توجد منطقة مستوية عريضة تميل نحو الغرب . وهذا المخروط الذى يعتبر واحداً من أكثر جبال الأرض ارتفاعاً ، قد يؤدى المزيد من دراسته الى كشف ما تجهله من تاريخ الأخدود . ويكاد يكون من المؤكد أن المنطقة المستوية قد اقتطعتها الأمواج وقت أن كان الجزء الأعلى من القمة واقعا فوق مستوى سطح البحر . واذا استطعنا أن نحصل على حفريات المياه الضحلة عند قمة المخروط ، لأمكننا تحديد الفترة التى غمرت فيها المياه قمة المخروط ، وربما أمكننا أن نعرف متى بدأ ميل المنطقة المستوية ومن ثم ربما تيسر لنا أن نعرف ميل قاع الأخدود الى أسفل .

ويعتبر أخدود «تونجا» ، كما ذكرنا ، حالة نموذجية لأخاديد المحيط الهادى . ومن بين عمالقة الأخاديد الأخرى أخاديد «الأيوشان» و «كوريل» و «اليابان» و «ماريانا» و «الفيلين» و «جاوة» ، وهى تقع على الجانبين الشمالى والغربى للمحيط ، وأخدودا «الكابولكو» و «بيرو - شيلي» الواقعا بالجانب الشرقى للمحيط . ومما هو جدير بالملاحظة ، وقد تكون له دلالة معينة ، أن الأخاديد تكاد جميعا تتساوى فى الحد الأقصى الذى

تصل اليه أعماقها . وأقصى سجل حتى الآن يبلغ ما بين ٣٥٢٩٠ قدما ، ٣٥٦٤٠ قدما ، وذلك عند الجنوب الشرقي من جزر ماريانا . وهذا العمق قد سجلته السفينة الملكية الحديثة « تشالنجر » ، وهو نفس اسم السفينة الشهيرة التي تعتبر رحلتها حول العالم في عام ١٨٧٠ مولدا لعلم البحار الحديث . والواقع أن السفينة الأصلية « تشالنجر » هي التي اكتشفت منخفض « ماريانا » ، وقد عرفت لمدة سنوات طوال باسم « هوة تشالنجر » .

وعلى وجه العموم يبدو أن المقطع المستعرض لجميع الأخاديد العميقة يتخذ شكل الرقم « ٧ » ، رغم أن بعضها قليل الاستواء عند القاع ، ويتراوح عرض هذا الجزء المسطح ما بين ميلين وعشرة أميال في أخدودي اليابان والفيلبين ويبدو كذلك أن مقطع بعض الأخاديد الضحلة ، والمنخفضات الشبيهة بالأخاديد ، على شكل حرف U ، وكذلك اتضح أن مساحات كبيرة من قاعها مستوية كما لو كانت الرواسب قد ملأت جزءا منها . وإذا وجلت الرواسب بالأخاديد التي على شكل الرقم ٧ فإن سمك تلك الرواسب لا يمكن أن يعدو مئات قليلة من الأقدام .

إن عملية استكشاف هذه الأخاديد استكشافا مباشرا أمر غاية في الصعوبة . فعمقها السحيق وثقل ضيقها يقيمان صعوبات لا يمكن تلافيها . ولكي ندلى إلى قاع الأخاديد العميقة بأجهزة قليلة لتصيد العينات لابد أن تجهز السفينة بحبل دقيق مصنوع من أقوى أنواع الصلب ، وكذلك بآلة رفع قوية مصممة بطريقة خاصة . وهذا النوع من الآلات الراقعة لا يوجد منه الآن غير ثلاث فقط وقد صنعت أحداها لحساب بعثة « الباتروس » السويدية

عام ١٩٤٨ - ١٩٤٩ ، وقد استعملتها فيما بعد بعثة « جالابيا »
الدانماركية عام ١٩٥٠ - ١٩٥٢ والآلة الرافعة الثانية مودعة
بسفينة الأبحاث « سبر ف . بيرد » التابعة لمعهد سكرييس ،
ونوجد الرافعة الثالثة بسفينة الأبحاث السوفيتية « فيتياز » .

واطار الآلة الرافعة بالسفينة « بيرو » يستوعب ٤٠٠٠٠ قدما
من الأسلاك وعندما تتدلى هذه الأسلاك في أخدود « تونجا » ،
وبطرفها ثقل العينات الكبير يبلغ الضغط الناجم عنها عند سطح
السفينة ١٢ طنا .

وتستغرق عملية ادلاء الثقل لأخذ العينات ساعات عديدة .
ومما يزيد الأمر تعقيدا عدم إمكان الاحتفاظ في معظم الأحيان
بسفينة الأبحاث الصغيرة في بقعة ثابتة في وسط المحيط الهادى
وتحت وابل من تيارات عاتية لا يمكن التكهّن بها ، وكذلك تحت
تأثير الرياح الجارفة . فالأسلاك دائما عرضة لأن تنفصم وكذلك
تعرض الآلة الرافعة عند أى وقت للتلف بتأثير الضغط الكبير ،
وكلا الأمرين يعتبر خسارة فادحة تودى بهذا الجهد الثمين .
وتشل حركة العمل وتبدد الآمال التى من أجلها بذلت الجهود
لايفاد سفينة علمية الى الأماكن النائية من العالم .

وإذا كان قياس قاع الأخدود والحصول على عينات من ذلك
القاع أمرا عسيرا ، فإن عملية تثقيب القاع لمعرفة المواد الواقعة
تحتّه أمر مستحيل تماما بوسائلنا الحالية . ولذلك لافسر من
اعتمادنا في هذا الاستكشاف على وسائل غير مباشرة مثل دراسة
أمواج الزلازل وقياس شواذ الجاذبية ، وانتقال الحرارة خلال
القشرة ، والخواص المغنطيسية للصخور الدفينة .

ومنطقة الأخاديد هي الجزء من الأرض الذي يتمثل فيه نشاط الزلازل على أشده . ففي تلك المنطقة تقمع كل الزلازل الكبرى تقريبا ، وخاصة تلك التي عند الأعماق الكبيرة . وتقترن أعماق الزلازل بأعماق الأخاديد وأشدّها انحدارا . ويوحى ذلك بأن القوى التي تتولد عنها هذه الأخاديد تعمل عند أعماق كبيرة تحت سطح الأرض .

وقد تكون الزلازل في الواقع هي السبب في وجود خط من البراكين النائرة مواز للأخاديد وقد افترض بعض الباحثين أن الحرارة المتولدة عند بؤرة الزلازل تصهر الصخور المحيطة بهذه البؤرة ، وأن المواد المنصهرة ترتفع ثم تطفئها البراكين في آخر الأمر .

وتمدنا الدراسات السيسمولوجية لانكسار الأمواج بدليل آخر يتعلق بطبيعة القشرة الواقعة تحت هذه الأخاديد . ويتضح من هذه الدراسات أن سمك القشرة الأرضية تحت الأخاديد (تونجا وغيرها) أقل من ثلث سمك القشرة الواقعة تحت القارات ومن ثم فأننا نستنبط حقيقة على جانب كبير من الأهمية ، ألا وهي أن تركيب القشرة تحت الأخاديد هو من النوع المقترن بالمحيطات دون القارات .

وأهم الظواهر المقترنة بالأخاديد هو النقص في قيمة الجاذبية وتتوقف قوة الجاذبية على كتلة المادة الواقعة بين السطح وبين عمق في باطن الأرض . وهذه القوة تتساوى بوجه عام عند جميع الأماكن الواقعة على خط واحد سواء كان المكان في حوض محيط أو على سطح قارة . وذلك على الرغم من أن حجم الصخور الواقعة

تحت مساحة قارية أكبر من حجمها تحت نفس المساحة من محيطها وواضح أن القارات «تطفو» عاليا عن مستوى قاع البحر العميق، كما يطفو الطوف الخفيف في الوسط الذي يفوق كثافته . وفي القارات نفسها يوجد عادة فرق طفيف في مقدار الجاذبية عند السطح الجبلى المرتفع ومقدارها عند سطح السهول المنخفضة . والفرق الشائع هو أن سمك الطبقات المكونة من مواد خفيفة تحت الجبال أكبر منه تحت السهول . وتسمى حالة القشرة هذه بالتوازن الاستاتيكي .

وتختلف قيم الجاذبية المقاسة بالقرب من الأخاديد اختلافا يينا عن القيم المتوقعة . وتعتبر شواذ الجاذبية هذه من أكبر ما تصادفه من شواذ فوق سطح الأرض . فمن الواضح أنه ليس من المتوقع الحصول على توازن استاتيكي بالقرب من الأخاديد . فالقوى المكونة للأخاديد لا بد وأن يكون تأثيرها مضادا لقوة الجاذبية ، فتعمل على جذب القشرة الواقعة تحت الأخاديد الى أسفل .

والآن تساهل عن كنه هذه القوى ؟ وقد نحصل على اجابة ممكنة لهذا السؤال من دراستنا لانتقال الحرارة في القشرة الأرضية فكما بين « أ.أ. بنفيلد » في الجزء من الكتاب عن « حرارة الأرض » ، أن كميات ضئيلة من الحرارة تنتقل بصورة مستمرة من أعماق الأرض الى سطح القشرة الخارجى . وتولد معظم هذه الحرارة من تحلل العناصر المشعة الموجودة بالقشرة وبالطبقة الغلافية التى تحدها من أسفل . فبالقرب من سطح الأرض يكون معظم انتقال الحرارة نحو الخارج بطريق التوصيل ، أما عند الأماكن الأكبر عمقا فقد تتحرك الصخور الساخنة الى أعلى حركة

بطيئة ، حاملة معها طاقتها الحرارية نحو السطح . فإذا حدث في مناطق ما من الأرض أن تحركت الصخور الساخنة والواقعة عند الأعماق الى أعلى ، فلا بد وأن هناك مناطق أخرى تتحرك منها الصخور الباردة الى أسفل . مثل هذه الحركة من شأنها أن تحد من انتقال الحرارة نحو الخارج . وتدل القياسات بالقرب من قاع أخدود « أكابولكو » على أن انتقال الحرارة هناك أقل من نصف المتوسط بالنسبة لسطح الأرض (ويبلغ المتوسط حوالى ٢٥٠ سمرا في السنة لكل بوصة مربعة من السطح) . ومن ثم فمن المحتمل أن هناك صخورا باردة نسبيا تتحرك الى أسفل تحت الأخدود . مثل هذه الحركة المتجهة الى أسفل قد تجر معها القشرة ، الأمر الذى قد يفسر تكوين الأخدود . وإذا كانت هذه العملية جارية فلا بد أن الطبقة الغلافية من الأرض أبرد تحت الأخاديد منها عند أى موقع آخر . وتلك حقيقة تؤيدها القياسات المغنطيسية ، الا أن عدد تلك القياسات لايزال أقل مما يمكننا الاعتماد عليه .

ومن المتوقع من مجمل معلوماتنا أن نضع تاريخ حياة الأخدود في الصورة الآتية : تعمل القوى الصادرة من أعماق الأرض على تشكيل قاع البحر مكونة أخدودا على شكل الرقم ٧ . ويستقر العمق عند حوالى ٣٥٠٠ قدم تحت سطح البحر ، غير أنه ربما يستمر سحب مواد القشرة ، ومن بينها الطبقات الرسوبية ، الى أسفل داخل الأرض . والذى يحملنا على أن نفترض ذلك هو أن أعماق الأخاديد لا تحتوي في الظاهر على رواسب رغم أن الأخاديد تعتبر مصيدة طبيعية لتلك الرواسب . هذا وتنشط البراكين والزلازل عادة خلال هذه الفترة من تاريخ الأخدود .

وفي أثناء الفترة التالية من تاريخه تفتقر القوى العاملة على جذب

القشرة أو هصرها الى أسفل تحت الأخدود ومن ثم يبدأ الأخدود في استقبال الرواسب ، لذلك يتخذ الأخدود شكل حرف U عند ما تغطي الرواسب التعاريج الطبوغرافية . وقد تتجمع الرواسب وتتراكم حتى تعلو قممتها في آخر الأمر الى ما فوق سطح البحر مكونة الجزر ، وذلك عندما تصل المنطقة الى توازنها الاستاتيكي . وتكون الرواسب الموجودة بالجزء العلوي عبارة عن صخور من النوع الذي يترسب في المياه الضحلة كالحجر الجيري ، مثال ذلك « تونجا » و « ماريانا » .

وهناك عملية أخرى قد تلعب دورا عندما تتراكم طبقة سميكة من الرواسب . فمثل تلك الطبقة قد تكون بمثابة غطاء وعازل حرارى للأخدود . ذلك لأنها رديئة التوصيل الحرارى . ويترتب على ذلك أن يوقف انتقال الحرارة من الداخل ، فترتفع درجة الحرارة أسفلها مما يؤدي الى انصهار جزء من الصخور العميقة ، وحينئذ قد ترتفع المادة المنصهرة الى أعلى ، لتحول الصخور الثقيلة والجزء الأسفل من طبقة الرواسب الى صخور خفيفة من النوع انجرائيتى . وعلى هذا فإن سمك القشرة لا بد أن يزداد عند منطقة الأخدود.

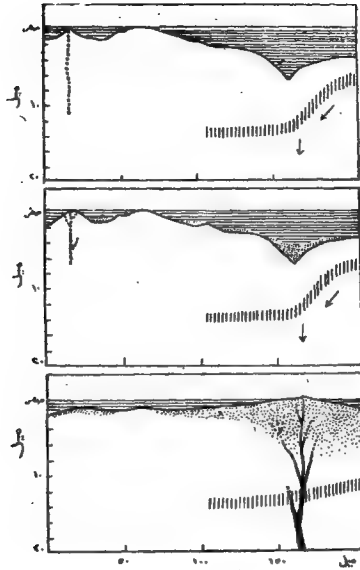
وقد اقترح بعض الجيوفيزيائيين أن مثل هذا التسلسل في الحوادث ، قد تكرر مرة تلو أخرى خلال الماضى الجيولوجى ، وهذا هو النمط الذى نمت به القارات على حساب أحواض المحيطات . هنا يعم لنا أن تساءل : فى أى مكان من القارات توجد تلك الأخاديد التى امتلأت ؟

وطبعى أن يتجه تفكير المرء لأول وهلة الى تلك التكوينات

المحدودة والتي تمتد الى مسافات طويلة والمسماة بالقباب المقمرة (Geosynclines) حيث تراكمت الرواسب ونشأت السلاسل الجبلية ، وتحت عوامل الضغط تكونت الطيات . فهل كانت بعض هذه القباب المقمرة في بادىء أمرها أخاديد كتلك التي نجدها بقاع المحيط ؟ كان المعتقد عادة أن الأمر ليس كذلك ، إذ أن معظم الرواسب في القباب المقمرة تبدو أنها استقرت في مياه ضحلة وليست في أخاديد عميقة . ومنع كل فقد لا يكون هذا المظهر في بعض الأحيان سوى صورة مضللة . فعينات الرواسب التي جمعت من أعماق الأخاديد تشبه من أوجه عدة الرواسب التي تستقر في المياه الضحلة .

وحقيقى أن الصخور الرسوبية بالقباب المقمرة لا تحتوى على حفريات معروفة لحيوانات البحار العميقة ، غير أن حداثة عمر الأخاديد لا تمكنها من أن تترك سجلا واضحا . وأعماق الأخدود حالكة الظلمة اللهم الا من بعض الأضواء الضعيفة الخافتة التي تبعث بها بعض الكائنات الحية المضيئة ، ولا قدرة للنبات على أن يعيش هناك . ولا بد للحيوانات والبكتيريا هناك من أن تحصل على غذائها شتاتا من البقايا النباتية والحيوانية التي تهبط ببطء من الطبقات العليا في البحر . والمياه بالأخاديد شديدة البرودة . وتبلغ حوالى ٣٠٠٠ فهرنهايت ، ومن المحتمل أنها كانت ادفأ من ذلك بحوالى ٢٠٠ في الماضى الجيولوجى . والضغط عند قاع الأخدود مرتفع جدا بطبيعة الحال ، إذ يربو على ثمانية أطنان على كل بوصة مربعة .

ومنذ أعوام عديدة انتشرت بعثة « جالاتيا » الدانيماركية



شكل (٩)

يبين الشكل المراحل الثلاثة التي يمكن ان يمر بها تاريخ اخدود اسفل البحر . ففي الشكل العلوي تعمل القوى الواقعة عند أعماق كبيرة تحت السطح « انظر شكل (٣) » على جذب قاع المحيط لكي يتكون الاخدود على شكل الرقم ٧ . وفي الشكل الاوسط تكون القوى الجاذبة الى اسفل قسدت هبات ، فتتجمع الرواسب في قاع الاخدود محولة شكل مقطعة من شكل الرقم ٧ الى الشكل U . عندما يستتب التوازن الاستاتيكي للقشرة كما هو مبين بالشكل الاسفل يرتفع سطح الرواسب الى ما فوق سطح البحر . ويعمل النشاط البركاني على جلب الصخور المتصهرة الى اعلى متطللة الرواسب حتى تصل الى السطح .

بضعة حيوانات من قاع أخاديد يربو عمقها على ٣٠.٠٠٠ قدم ، وكانت الحيوانات الرئيسية التي حصلت عليها عبارة عن « خيار » البحر ونوع من شقائق البحر ، وكل من هذين الحيوانين لا يترك حفائر واضحة . وقد التقطت البعثة أيضا بعض الديدان والقشريات مع اسفنج زجاجي جميل .

وقد عثر بقاع بعض الأخاديد العميقة على مواد من المفروض عادة أنها لا ترسب الا في المياه الضحلة . والتقطت بعثة « جالاتيا » من قاع أخدود الفيلين رملا ناعما رمادى اللون ، وبعض الحصى وبقايا من نبات اليابسة . وفي حوض « بورتوريكو » عثر مرصد « لامونت » الجيولوجى بجامعة كولومبيا على هياكل الحيوانات ونباتات لا تعيش الا في المياه الضحلة . وفي الجزء الشمالى المستوى القاع من أخدود « أكابولكو » احتوت احدى العينات على طين أسود ناعم غنى بالمخلفات العضوية وتفوح منه رائحة كبريتور الكربون الكريهة ، كما عثر في عينات أخرى على طبقات من الرمل الرمادى والأخضر والبني والغرين كما وجد بين هذه الطبقات قطع خشبية متفحمة وطين ناعم أخضر اللون .

وعلى كل ، فمن الواضح أن بعض القباب المقعرة ، وخاصة تلك التى تقع على امتداد جبال « أبالاشيان » ، لا يمكن أن نغزوها الى أخاديد كانت أصلا واقعة في البحر العميق ، اذ أنها تحتوى على رواسب من المستنقعات وسهول غمرها الفيضان برواسب بحرية ، ومن ثم فإن تلك الرواسب لا بد وأن تكون قد استقرت أصلا في مياه ضحلة .

والسؤال الذى لا يزال يشغل بالنا هو : أين هي أخاديد الماضى؟

وهل نحن نجتاز الآن عصرا جيولوجيا خاصا ، وهل الأخاديد الحالية
التي تبدو لنا حديثة العهد لم يكن لها نظائر في معظم التاريخ
الجيولوجي ؟ ان مثل هذا التصور لا يلائم كثيرا من الجيولوجيين
اذ لا يستقيم مع القاعدة القائلة بأن الحاضر هو مفتاحنا الى الماضي
ولا بد أن نواصل بحثنا عن أخاديد قديمة بقاع البحر العميق ،
وبالمناطق المتطرفة للمياه الضحلة ، وبالقارات نفسها .

الغلاف المائي

HYDROSPHERE



الجزء الأول : جبال الجليد (GLACIERS)

بقلم ويليام أ. فيلد

المؤلف هو رئيس قسم الاستكشاف والابحاث بالجمعية الجغرافية الامريكية ، وقد بدأ اهتمامه بدراسة الجبال الجليدية بكلية هارفارد حيث تفوق في علم الجيولوجيا . وفي ذلك الوقت عرف ان جبال الجليد بمنطقة الاسكا تتعرض لتغير سريع ، فقرر « فيلد » ان يكف على دراستها وتقرب تطورها مع الزمن . وبمجرد ان تخرج في عام ١٩٢٦ قام بأولى رحلاته المتعددة الى تلك المنطقة . وفي عام ١٩٤٠ انضم الى الجمعية الجغرافية الامريكية ، وعهد اليه بوضع برنامج شامل لدراسة طويلة المدى لجبال الجليد . وفي أثناء الحرب العالمية الثانية أمّد « فيلد » أولى افلامه التدريبية لسلح الاشارة ، ثم قضى عامين بالهند وبورما يعمل بشركة تصوير . وكان « فيلد » مستولا عن وضع برنامج دراسة الجبال الجليدية الذي ساهمت به الولايات المتحدة الامريكية في السنة الجيوفيزيائية الدولية .

الجزء الثاني : دورات المحطات

بقلم والتر هـ . منك

ولد « والتر هـ . منك » بالنمسا ، وهي الدولة التي نشأ بها ، ينسب اليها كثيرون من علماء علوم البحار ، رغم انتقالها الى البحار نفسها . ويشغل « منك » منصب استاذ الفيزياء الارضية بمعهد « سكريبس » لعلوم البحار بمدينة « لاجوس » بكاليفورنيا ، وقد حصل على درجة الماجستير في الفيزياء الارضية من معهد كاليفورنيا للعلوم التطبيقية ، وفي عام ١٩٤٧ حصل على درجة الدكتوراه في علوم البحار من معهد « سكريبس » .

جبال الجليد

بقلم

ويليام أ. فيلد

الماء هو احدى المواد التى توجد فى الطبيعة فى حالاتها الفيزيائية الثلاثة - سائلة وصلبة وغازية . ويحتوى كوكبنا على ماء يبلغ فى جملة حوالى ٣٥٠ مليون ميل مكعب ، ويوجد معظمه بالطبع فى المحيطات . والماء فى حالته الصلبة ، سواء على شكل جليد أو ثلج لا يتجاوز ١ ٪ من مجموع مياه الأرض ، وهو على شكل بخار فى الجو أقل كثيرا من هذه النسبة ، ومع كل ، فهذه النسب تؤلف توازنا دقيقا بالغ الأهمية بالنسبة للحياة على سطح الأرض . فأى تغير كبير فى نسب الماء والجليد وبخار الماء بالجو تترتب عليه فكبات تلحق بالانسان واقتصادياته . وعلى سبيل المثال ، نجد أن الجليد المتراكم فوق اليابسة يتحكم فى مستوى سطح الماء بالبحار ويؤثر على المناخ ويسيطر على مصادر الماء بالتقارات .

وتغطى جبال الجليد الآن حوالى ١٠ ٪ (أى حوالى ٦ مليون

ميل مربع) من مساحة اليابسة . وتقديرنا لمجموع المياه الموجودة بها ليس الا حدسا تقريبا ، اذ ليس لدينا غير معلومات غامضة عن سمك طبقة الجليد بالمنطقة المتجمدة الجنوبية ويؤلف هذا الغطاء الجليدى حوالى ٨٦٪ من مساحة الجبال الجليدية على سطح الأرض . ويؤلف الغطاء الجليدى بمنطقة جرينلاند حوالى ١٠ ٪ من هذه المساحة الكلية . وليست المساحة المتبقية ، أى البالغة ٤٪ بالفضيلة الشأن اذا قيست بالآثار التى يمكن أن تترتب على وجودها ، فهى تشمل عشرات الآلاف من الأميال المربعة من الكتل الجليدية الكائنة فوق جبال المناطق المعتدلة المناخ ، وهذه تتحكم تحكما وثيقا فى المناخ وفى مصادر المياه بالنسبة لمعظم سكان العالم من الجنس البشرى . ويعنبر التغير فى حجم هذه الكتل الجليدية مقياسا دقيقا لتغير المناخ .

يقدر الحجم الكلى للمياه التى تحتويها الجبال والكتل الجليدية فى أنحاء العالم بما يتراوح بين حوالى ٢٤ مليون ميل مكعب وما يربو على ٦ مليون ميل مكعب . واذا قدر لكل هذا الجليد أن يذوب لارتفع مستوى سطح الماء فى محيطات العالم بما يقرب من ٦٥ الى ٢٠٠ قدم !

توجد جبال الجليد فى المناطق التى يتزايد هطول الثلج فيها سنة بعد أخرى بحيث تفوق الزيادة السنوية معدل ما ينصهر من الجليد سنويا . ويترتب على هذا أنه لا يتحتم أن يكثر وجود الكتل الجليدية حيث يكون المناخ أبرد ما يمكن .

ففى الاسكا يزداد تراكم جبال الجليد على الشاطئ الجنوبى وهو أدفا جزء فى الاقليم ، ولكن تساقط الثلج فيه شتاء أكثر من

تساقطه في الأجزاء الأخرى . وهناك أجزاء عارية من الجبال الجليدية في شمال « جرينلاند » لأن تساقط الثلج فيها غير كاف .

وعندما يتراكم الثلج المتساقط يكون من أثر ضغط طبقاته العليا أن يماسك متحولاً إلى كتلة جليدية ، ويبدأ الجليد ، متأثر بقله ، في الانسياب إلى ارتفاعات أقل . ويختلف معدل انسياب حركة الجبال الجليدية اختلافاً كبيراً ، إذ يتحرك بعضها في بضع شديدة ، بينما يتحرك بعضها الآخر بسرعة تصل إلى ٥٠ قدماً في اليوم . وعند الارتفاعات المنخفضة تنصهر الجبال الجليدية وتدفع بالكتل الثلجية إلى عرض البحر . وتقدم جبل الجليد أو انحصاره أمر لا يتطلب أكثر من تغير طفيف يطرأ على الارتباط بين كمية الثلج المتساقطة سنوياً ، ودرجة حرارة فصل الذوبان ، وغير ذلك من الأحوال الجوية .

ميل مكعب	
٣٢٩٠٠٠٠٠٠٠	حجم الماء بالمحيطات (تقدير قريب من الدقة)
٣٦٠٠	حجم الماء بالجو (تقدير مقرب)
٣٢٥٠٠٠٠٠	حجم الماء بجبال الجليد (تقدير المتوسط)
٥٥٠٠٠٠	حجم الماء بالبحيرات والأنهار (تقدير مقرب)
١٢٥٠٠	حجم المياه الجوفية عند مستوى أعلا من ١٢٥٠٠
١٠٠٨٠٠٠٠٠	قدم (تقدير مقرب جداً)
١٢٥٠٠	حجم المياه الجوفية عند مستوى أقل من ١٢٥٠٠
١٩٧٠٠٠٠٠٠	قدم (تقدير مقرب جداً)

جنول بين أحجام المياه موزعة بين سطح الأرض والجو وبين سائله وصلبه . ويبلغ حجم الماء بجبال الجليد حوالي ١ % من المجموع الكلي .

ومن المحتمل أن الأرض في معظم فترات تاريخها كانت خالية من الجبال الجليدية . فنحن نجتاز عصرا استثنائيا ، لا هو جليدي ولا هو غير جليدي . ففي خلال المليون عام الأخيرة مرت الأرض بأربعة عصور جليدية عظمى على الأقل ، وكان الجليد في ذروة هذه العصور يغطي حوالي ٣٣٪ من مساحة اليابسة . وكانت العصور الجليدية يفصل بين كل منها فترة دفء طويلة تكاد تختفي جبال الجليد أثناءها . ويبدو أننا نجتاز الآن طورا انتقاليا ، طورا يقع في فترة ما بين عصر جليدي وعصر يفصل بين عصرين جليديين . فعدد جبال الجليد الآخذة في النمو الآن محدود ، في حين أن

ميل مربع	
٢٩٧٠٠	شمال أمريكا
٥٩٢٠٠	جزر المتجمد الشمالي الكندي
٦٩٥٠٠٠	جرينلاند
٩٧٠٠	جنوب أمريكا
٤١٠٠	أوروبا
	جزر شمال الاطلنطي المتجمد الشمالي
٤٨١٠٠	الأوربي
٤٨٧٠٠	آسيا
١٢	أفريقيا
٤٠٠	جزر المحيط الهادي
٦٢٠٠	جزر قريبة من المتجمد الجنوبي
٤٨٨٤٢٠٠	المتجمد الجنوبي
٥٧٨٠٠٢١٢	المجموع العالمي

يبين الجدول توزيع المساحات المغطاة بالجليد في أنحاء الأرض « والسماك الكبير لطقة الجليد في منطقة المتجمد الجنوبي يزيد من النسبة الممثلة للجليد الموجود بتلك المنطقة « مقدرة بالليل الكمب » عن نسبته المساحية الكبيرة .

معظم جبال الجليد في طور الانكماش ، وبعضها في طريقه الى الزوال .

ومن المحتمل أن سطح البحر أثناء العصر الجليدى الأخير كان دون منسوبه الحالى بحوالى ٢٥٠ قدما ، وكانت درجة الحرارة في العالم تقل في المتوسط بمقدار يتراوح بين ٧ درجات ، ١٤ درجة . وكانت هناك خمس ساحات من سطح القارات يغطيها الجليد ، تربو مساحة كل منها على مليون ميل مربع ، وقد اختفت ثلاث من هذه الساحات ، بأمريكا الشمالية وأوربا وسيبيريا ، وبقيت اثنتان منها بجرينلاند والمنطقة المتجمدة الجنوبية أما الجبال الجليدية فقد تقلصت جميعها .

بدأ ظهور الحضارة في غرب آسيا وشمال أفريقيا في نفس الوقت الذى بدأ فيه اختفاء الساحة الجليدية بأوروبا وأمريكا الشمالية . وحوالى عام ٣٠٠٠ قبل الميلاد كان المناخ في معظم أنحاء العالم ، ان لم يكن في العالم أجمع ، أكثر جفافا وأدفاً بمقدار درجتين أو ثلاث درجات عما هو عليه الآن . وكان مستوى سطح البحر ، فيما يبدو ، أعلى بمقدار يتراوح بين خمسة وستة أقدام . وكانت المنطقة الجليدية بالالب أعلى بمقدار ١٠٠٠ قدم على الأقل ومن المحتمل أن الجليد في المحيط المتجمد الشمالى كان ينصهر تماما في صيف كل عام . أما بعض أجزاء المناطق المعتدلة ، حيث تملأها الآن الجبال الجليدية الصغيرة بمصادر المياه الصيفية ، فلا بد أنها كانت جرداء .

وحوالى عام ١٠٠٠ قبل الميلاد بدأت الظروف تتغير تغيرا كبيرا فقد جنح المناخ الى البرودة وازداد قيام العواصف في كثير من

أنحاء العالم ، وحوالى عام ٥٠٠ ق . م بدأت تنمو الجبال الجليدية مرة أخرى ، ثم جاءت فترة تدهورت فيها ثانية ، وذلك خلال الألف عام الاولى بعد الميلاد . ولكنها عاودت نموها وبلغت ذروتها مرة أخرى فى الفترة ما بين القرن السابع عشر والقرن التاسع عشر . وقد سجل بعض المراقبين بعث الجبال الجليدية هذا تسجيلا مباشرا فى الإلب واسكنديناويا وايسلاند . وقد بدأت الجبال الجليدية فى التقلص مرة أخرى خلال النصف الأخير من القرن التاسع عشر . وقد ترتب على هذا أن مستوى سطح البحر أخذ فى الارتفاع بمعدل ٢٥ بوصة فى كل قرن . ومع كل ، فإن بعضها قد نما ، خلافا للقاعدة العامة . ففى بعض أجزاء غرب الولايات المتحدة الأمريكية نجد بعض جبال الجليد آخذة فى النمو ، الأمر الذى يشىء عن تغير فى المناخ .

بدأت دراسة جبال الجليد دراسة جدية منذ نيف ومائة عام ومنذ عام ١٩١٩ بدأ هانز و . صن . آلمان (Hans W. Son Ahlmann) بجامعة استوكهولم (الآن سفير السويد الى النرويج) عهدا جديدا فى جغرافية جبال الجليد فقد أخذ يعالج بنظرة جديدة وبتفصيل أشمل موضوع جبال الجليد فى اسكنديناويا وايسلاند وستيزرجن وشمال شرقى جرينلاند . وقد أدت دراساته الى استنباط طريقة جديدة لقياس نموها أو تضائلها . ومراقبة جبال الجليد أمر يجرى الآن بأسلوب منظم فى أنحاء متعددة من العالم . وفى خلال الأعوام العشرة الأخيرة أجريت دراسات هامة فى جرينلاند ، وخاصة تلك التى قامت بها بعثة « بول فيكتور » (Paul Victor) الفرنسية القطبية ، وقدرت فيها حجم طبقة

الجليد بجرينلاند ، ودرست كميات الجليد في مساحة واسعة منها .

أما طبقة الجليد في المنطقة الجنوبية ، والتي لا نعلم عنها إلا القليل ، فتبلغ في الحجم قدر الولايات المتحدة الأمريكية وأقاليمها مرة وثلاث مرة ، وهي تغطي عمليا كل مساحة قارة المتجمد الجنوبي . وهناك مليونان من الأميال المربعة لم يسبق رؤيتها حتى من الجو ، وذلك الى وقت الكشف الحالي الذي يجري بمناسبة السنة الجيوفيزيائية الدولية . والمعروف أن قمة الجليد ترتفع الى ١٣٠٠٠ قدم ، غير أن سمك الطبقة الجليدية لم يتم قياسه الا في أماكن قليلة . ومنطقة المتجمد الجنوبي الآن موضع دراسة متشعبة يقوم بها المتخصصون في الجبال الجليدية وغيرهم من العلماء . وسوف تقوم باستكشافها فرق أبحاث لمدة عامين ، يعملون إما في قواعد متعددة ، أو مستخدمين عربات الجليد ، أو مسجلين مشاهداتهم من الجو . وسوف يجمع أكبر قسط ممكن من المعلومات عن سمك طبقة الجليد وما يطرأ عليها من تغيرات ، وكذلك عن الحالة الجوية ، والتركيب العضوي داخل هذه القارة الجليدية .. وسوف تقام إحدى المحطات الأمريكية بالقرب من القطب الجنوبي ، وعلى ارتفاع ٩٥٠٠ قدم ، كما تعد دول أخرى محطات داخل القارة . وسوف تكون هذه هي المرة الأولى التي يقضى فيها انسان فصل الشتاء بداخل هذه القارة . ولا يعلم أحد الى أى درجة تصل البرودة شتاء قرب القطب الجنوبي ، غير أنه من المتوقع أن تصل درجة الحرارة الى ١٠٠° فهرنهايت تحت الصفر أو أبعد من ذلك .

أما في النصف الشمالي من الكرة الأرضية فسيوجه برنامج

الولايات المتحدة الأمريكية بصفة خاصة الى دراسة جبال الجليد :
من حيث نموها وتناقصها وحجمها ، وارتباط كل ذلك بالتغيرات
التي تطرأ على الأحوال الجوية . وستتناول الدراسة شمال غربي
المحيط الهادي ، وألاسكا ، وجليد بحر المتجمد الشمالي ، والغلاف
الجليدي بجرينلاند . وسوف تكون هذه الدراسة بمثابة امتداد
وتوسيع للدراسات التي أجريت على فترات متقطعة منذ عام ١٨٨٠ ،
والدراسات المنظمة التي أجريت خلال ربع القرن الأخير .

الهدف من كل هذه المشاهدات هو تقدير الحالة الراهنة لجبال
الجليد حتى يمكن مقارنة مسلكها والتوازن المائي في الانحاء
المختلفة من العالم . وتلك المشاهدات لا بد أن تمدنا بشتى
المعلومات ، ليس فقط عن التاريخ الماضى للأرض ، بل أيضا عن
مستقبل التطورات الممكنة في كمية المياه وفي المناخ .

دورات المحيطات

بقلم

والتر ه. منك

يعلم الجميع الفارق بين المناخ وحالة الجو بين يوم وآخر . وكثيرون لا يعلمون أن مثل هذا التمييز ينطبق أيضا على حالة تيارات المحيطات . وإلى عهد قريب كانت معلوماتنا مقصورة فقط على متوسط المعالم العريضة لتحركات المحيط - أى التيارات « المناخية » . غير أن الدراسات الحديثة قد كشفت عن وجود تحركات دقيقة مستقلة عن هذا المناخ ، لا تلبث أن تغير من اتجاهها من يوم إلى آخر بأسلوب زئبقى غاية فى الغرابة . فإذا استخدمنا عشر صنف فى مواضع استراتيجية فى تيار الخليج (Gulf Stream) لقياس التيارات وعمل « خريطة طقس » للتيار فى يوم الخميس المقبل ، لاختلفت الخريطة عن تلك التى نحصل عليها بالنسبة ليوم الجمعة التالى . ومنذ زمن غير بعيد كنا نراقب سفينة شحن متجهة إلى أوروبا متخذة فى عناية طرعا مرسوما كان حريا حسب الخريطة المناخية القديمة أن يجعل بوصولها إلى غايتها نتيجة لاتقاعها بتيار

الخليج . ولكن الواقع أن السفينة كانت تشق طريقها في ببطء اذ كان يعترضها تيار مضاد سرعته عقدتان ، بينما كان تيار الخليج في ذلك الوقت يبعد بمسافة مائة ميل عن طريقه المعتاد .

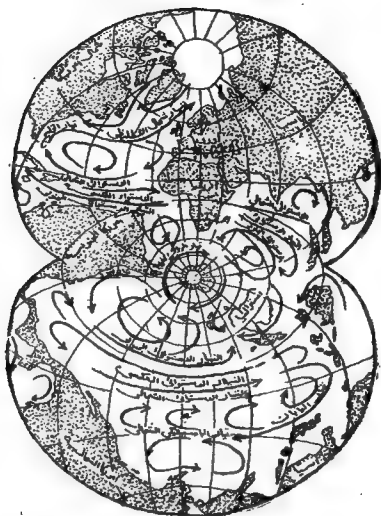
والنزوات التي كانت تتتاب تيارات المحيط لم تكن من الناحية العملية معروفة الى أن قامت الحرب العالمية الثانية ، حينما استحدثت أساليب جديدة ، وبينت الخرائط المفصلة أن التيارات بالمحيط الأطلنطي ليست مستقرة ، أو أنها ليست مما يمكن التكهّن بها كما توحى به الخرائط المناخية السابقة . وكان من أثر ذلك أن أصبح رجال علوم البحار مهتمين الآن بنوعين من الخرائط : الخرائط المناخية التي تبين متوسط التيارات في مساحة كبيرة لمدة عام ، والخرائط الاجمالية التي تشبه التقرير اليومي أو الأسبوعي عن الجو ، والتي تبين كيف تتغير التيارات من أسبوع لآخر . وتبدو التيارات في أحد نوعي الخرائط مختلفة تمام الاختلاف عنها في النوع الثاني . ففي الخرائط الاجمالية تبدو التيارات ضيقة ومتعرجة وسريعة ، بينما تبدو في الخرائط المناخية عريضة وقليلة التمرج وبطيئة . ولكل من الخريطتين فوائده . فاذا شئت أن تدرس ظاهرة طويلة المدى مثل نزوح الرواسب بعيدا عن القارات بتأثير تيارات المحيط ، فعليك بالتزام الخريطة المناخية ، ومن الناحية الأخرى ستكون الخريطة الاجمالية أكثر تفعا لك اذا كنت تقود سفينة أو غواصة .

أعد علماء علوم البحار خرائط للتيارات التي تجتاح جميع محيطات العالم بصفة عامة ، مستخدمين في ذلك طريقة تشبه تلك التي تحدد بها التيارات الهوائية بالجو . بمعنى أن تيارات المحيط

تستنتج من مجالات الضغط بالبحار ، وتلك يمكن معرفتها بقياس درجة ملوحة الماء ودرجة حرارته . والشكل (١٠) عبارة عن خريطة تلخص لنا ما فعلناه عن التيارات المناخية التي تحتاح سطح المحيطات (طبقة عقمها ١٠٠٠ قدم من السطح) .

هل يرتبط هذا النمط المعقد للتيارات بنظام ما ؟ - وهل هناك قاعدة ما يخضع لها هذا النمط ؟ أظن أن تلك القاعدة موجودة ، والخريطة الموضحة في شكل (١١) هي محاولة لتحليل العناصر الرئيسية للصورة . ولنفترض أننا مثلنا بيانيا التيارات التي يجب أن تظهر في محيط مثالي مستطيل الشكل تؤثر عليه الرياح المعروفة التي تهب على العالم عند خطوط العرض المختلفة ، (وتبسيط الأمور سوف نأخذ في اعتبارنا فقط المركبات الشرقية - الغربية لنظام الرياح متجاهلين التفاصيل من أمثال الرياح التي تهب حول مرتفع برمودا .) عندئذ تنقسم الدورات في مثل هذا المحيط الى دورات (حلقات) تناظر أحزمة الرياح - حلقة في عكس اتجاه حركة عقرب الساعة بالمناطق الدوقطبية (الواقعة قبل القطبين) وتيار في اتجاه حركة عقرب الساعة بالحزام الدوستوائي (دون خط الاستواء) الشمالي ، وحلقة ضيقة على كل من جانبي خط الاستواء ، وحلقة في اتجاه مضاد لحركة عقرب الساعة في المنطقة الدوستوائية الجنوبية ويوجد بكل حلقة تيار قوى متواصل على الجانب الغربي (ناشئ كما سوف نرى عن دوران الأرض) يعدله تيار آخر مضاد بالجزء الأوسط والشرقي .

يمكننا بشيء من التصور أن نتعرف على هذا النمط في أحواض المحيطات الثلاثة الكبرى بالأرض . فالتيار الغربي القوى يشمل



شكل (١٠)

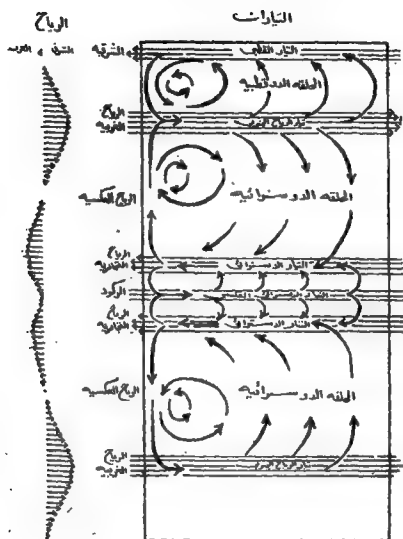
التيارات الناحية بالمحيطات موضحة على مسقط يمثل أحواض المحيطات مع كل انحدار فيما بينها . والتمط « مناخي » ، بمعنى أنه يمثل المتوسط الطويل الذي يتجاوز عن التغيرات التي تحدث من يوم لآخر . وبين شكل (١١) النظام الذي يبنى عليه مثل هذا التمثيل العقد للتيارات .

في تيار الخليج بالمحيط الأطلنطي الشمالي ، و تيار « الكوروشيو » بشمال المحيط الهادئ ، و تيار « البرازيل » بالمحيط الأطلنطي الجنوبي ، و تيار « أجولهاش » بالمحيط الهندي ، وربما أيضا

تيسار « شرق أستراليا » بجنوب المحيط الهادى . والتيار الذى تدفقه الرياح الغربية القوية خلال الفترة « الأربمينية الهادرة » ينصف الكرة الجنوبي لا يتدفق فى حلقة ، ولكنه يدور حول الكرة جميعها اذ لا تعترض القارات طريقه ، وذلك هو تيسار المتجمد الجنوبي العاتى الذى يدور حول القطب .

وحلقات تيار المحيط فى صورتنا هذه لا يقتصر تطابقها مع نظام الرياح فحسب، ولكنها أيضا تناظر الخواص الكيميائية والبيولوجية لمناطق المحيط . وعلى سبيل المثال ، تحيط كل حلقة من حلقات المنطقة الدوستوائية ببحر دافئ نسبيا ، مالح ، فقير فى المواد الفوسفاتية ، نشاطه البيولوجى ضئيل ، ولونه أزرق (والأزرق هو اللون الصحراوى للبحار) . وعند أطراف الحلقة تتغير هذه الظروف تغيرا حادا ، وسيطر على البيئة الواقعة عند مركز كل حلقة بالقرب من الشاطئ الغربى استقرار غير عادى . خير مثل نمرقه لهذه المناطق هو بحر باراجاسو بالمحيط الأطلنطى ، واسمه مشتق من حشائش السرجوم الطفيلية التى يكثر تواجدها به . أما المناطق الستة الأخرى بالعالم — مراكز الحلقات الدوستوائية بالمحيطات — فمن الممكن أن نجدها عامرة بنفس النوع من الحياة البحرية ، مع التجاوز عن فوارق بيئية محدودة ، ولكن هذا أمر لا يزال يحتاج الى استكشاف .

التفاصيل الدقيقة للميكانيكية التى تولد بها الرياح هورات المحيط أمر معقد وغير واضح . وأول الأمور المعقدة هو فى حد



شكل (١١)

يبين الشكل نمط التيارات المائية في محيط مثالي مستطيل الشكل ،
يعرض فقط لقوى الرياح الأفقية التي تمثلها الأسهم على يسار الشكل .
وكل خلية كبرى للتيارات المائية من الخلايا المبنية هنا يتحكم وجودها في
النظام الحقيقي للتيارات بالمحيط المين بالشكل (١٠) مع عدم وضوح
مسارها لوجود العقبات الطبوغرافية .

ذاته فعل الرياح بالماء . فالرياح يمكنها ببساطة أن تحرك الماء بقوة
الاحتكاك لدى انزلاقها على صفحته ، حتى عند ما تكون هذه

الصفحة هادئة . ولا بد أيضا أنها تزيد من سرعة حركة الماء عند ما ترفع الرذاذ ثم تهبط به ثانية ، وخاصة أثناء الأنواء ، عند ما تزايد كميات الماء المرتفعة بحيث يختفى « الحد الفاصل » بين صفحة الماء والهواء . ومن الوسائل الهامة التي تدفع بها الرياح مياه المحيط هو ضغطها على الأمواج عند ما يكون البحر هائجا - تماما كما تنحني ورقات الحشائش لدى هبوب الرياح على حقل ، اذ يكون الضغط على الجانب الذي تهب منه الرياح أعلى منه على الجانب الآخر . ومن ثم تبين أن العامل الأساسي في تجاوب الماء مع الرياح ليس هو الأمواج الضخمة التي تهز السفن وتصيب الناس بدوار البحر ، ولكنه الموجات الصغيرة . واذا قدر لنا أن نغطي شمال الأطلنطي بطبقة من الزيت لنجعل من هذه الموجات سطحا مستويا ، لأصبح تيار الخليج أضعف بكثير مما هو عليه الآن . وتبلغ أهمية هذه الموجات الصغيرة حدا مدهشا . واني لأنساءل هل يعنى أى ملاح أمين بأن يعترف بأن الموجات الصغيرة التي لم يمرها الا القليل من اهتمامه ربما كانت بعضا من أسباب انحرافه عن طريق ملاحته ؟.

كيف يتسنى للرياح الدافعة أن تولد الخلقات الكبرى بالتيارات ، تلك الحلقات التي نشهدها بالمحيطات ؟ هناك نظرية فضجت خلال الأعوام العشر الأخيرة . ولنبدأ من موضع لا توجد به حواجز يابسة تعترض طريق الماء الذي تدفعه الرياح . في هذه الحالة سوف تجرى التيارات في دائرة كبيرة حول الأرض كما هو الحال في التيارات التي تجرى حول قارة المتجمد الجنوبي . وتعتقد

الأمور عند ما ندخل في اعتبارنا كتل اليابسة ولنفترض أننا قديم حواجز لنحصل على بحر مقفل فإذا هبت الرياح من الغرب فقط وكانت قوتها متساوية لدى كل خطوط العرض التي تمر بهذا البحر ، ففي هذه الحالة لا يمكن أن تتولد تيارات دورية ؛ وهذا أمر تام الشبه بمجلة الطاحونة الهوائية التي تتعرض ألواحها المتقابلة لقوى متساوية تعمل في نفس الاتجاه ، انها لا تتحرك في هذه الحالة . ان الرياح سوف تكون سببا في تراكم المياه في بساطة في الجانب الشرقي من البحر . أما اذا كان الريح عند خط عرض معين أقوى منه عند خط عرض آخر فان الريح القوي سوف يتغلب على الريح الضعيف فتبدأ المياه في الدوران . وبالطبع يصبح دوران المياه أقوى اذا كان اتجاه الريح عند خط عرض ما عكس اتجاهه عند خط عرض آخر . والى هذا الأثر يجب أن نضم الآن الأثر الناجم عن دوران الأرض . وقد أوضح هنري ستوميل (Henry Stommel) بمصهد « وودزهول » لمعلوم البحار أن دوران الأرض من الغرب الى الشرق يولد عزما من القوى التي تؤثر على تيارات المحيط وأن مركز هذا العزم يزاح نحو الغرب ، فتشتد التيارات في الجانب الغربي .

وعلى وجه العموم نجد أن التيارات الكبيرة التي تدفعها الرياح بمحيطات العالم تلائم هذا النموذج وتتسق مع النظرية المشتقة منه . وتقع حدود التيارات العظمى حيث يجب أن تكون بالنسبة لنظام الرياح ، كما تظهر كذلك التيارات الغربية القوية حيث يجب أن تكون . وفضلا عن

هذا فقد اكتسبت النظرية بعض التأييد من التجارب التي أجراها وليام فون أركس (William Von Arx) من «وودز هول» على نموذج معملي يمثل تيارات المحيط . والنموذج عبارة عن حوض يشبه عجلة الروليت ويدور حول محوره ، وهو أساسا على شكل نصف كرة مقلوبة . وتمثل المحيطات فيه بغشاء رقيق من الماء في حالة اتزان وهو عالق بسطح نصف الكرة التي تداوم دورانها بينما تهب الرياح فوق الغشاء المائي من فتحات ضيقة لآلة تنظيف كهربائية . ويعبر نموذج « فون أركس » عن مسقط النصف الشمالي للكرة الأرضية على هذا الحوض بحيث يقع القطب الشمالي عند النقطة المنخفضة بمرکز الحوض . وتوضع في هذا المركز بلورات « برمنجنات البوتاسيوم » ، بحيث اذا أضيف بعض المداد الى الماء يتفاعل مع البرمنجنات فتبين الألوان المختلفة أنماط تدفق المياه « ويبرز نموذج » « فون أركس » في دقة الحلقات الدورانية لشمال الأطلنطي وجنوب المحيط الهادى ، بما في ذلك التيارات الغربية الشديدة . ومما يزيد في أهمية النموذج أننا نستطيع تغيير الطبوغرافية والرياح بحيث توضح لنا التيارات الممكن وجودها في الماضى عند ما كانت الظروف مختلفة ، وعلى سبيل المثال يمكننا أن ندرس كيف كان مجرى تيار الخليج في الفترة التي كانت فيها أمريكا الشمالية منفصلة عن أمريكا الجنوبية عند الموضع المعروف الآن بمضيق بنما .

لا يصح أن نقترح أن هذه المشاهدات والتجارب تنطوى على التأييد الكامل للنظرية المتعلقة بكيفية تولد دورات المحيط ، إذ

نجد تناقضا في بعض الحالات ، وخاصة بعض الدورات في محيطات نصف الكرة الجنوبي التي لا تستقيم والنمط الذي تصوره تلك النظرية .

هذا هو موقفنا اذن من الدورات المناخية . بدأ عصر قياس التيارات الاجمالية ، أو عناصر الطقس البحرى يوما بيوم ، منذ عهد قريب عند ما اخترعت الأساليب والأجهزة الحديثة وأهمها : (١) الطريقة اللاسلكية لتحديد الأماكن ، والمعروفة باسم « لوران » ، (٢) جهاز القياس السريع لدرجات الحرارة عند الأعماق المختلفة والمسمى « بالمسجل الحرارى المائى » ، (٣) جهاز يسمى بالرسم الكهرومغناطيسى الأرضى ، وهو الذى يعين حركة مياه المحيط عن طريق قياس الجهد الكهربائى المتولد فى الجهاز نتيجة لحركته فى المجال المغناطيسى الأرضى .

وقد اكتشف « كولومبوس أ . دونيل ايزيلين » (Columbus

O'Donnel Iselin) ومعاونوه بمعهد « وودز هول »

لدى معاودتهم لدراسة تيار الخليج أن هذا التيار أضيق وأسرع كثيرا مما كان معتقدا . وعند ما تحسنت أجهزتهم ووسائلهم أصبح التيار أشد ضيقا وأكثر سرعة . كما اتضح لهم أيضا أن موضع التيار واتجاهه يتغيران من رحلة بحرية الى الرحلة التى تليها . فعلى عام ١٩٥٠ نظم مكتب علوم البحار ببحرية الولايات المتحدة الأمريكية بعثة من خمس سفن أطلق عليها اسم « عملية كابوت » لدراسة تيار الخليج عن كثب . واستطاعت البعثة أن تكشف ظاهرة

غاية في الأهمية : فتيار الخليج قد ضل طريقه المعتاد ليرسم أنشودة طولها ٢٥٠ ميلا ! وبعد يومين يبدو شكل الأنشودة وقد اتخذ صورة دوامة مستقلة ثم أخذت هذه الدوامة تضجحل تدريجيا .

وقد قدرت كمية الماء التي تنقلها هذه الدوامة المفردة من شمال الأطلسي وتدفع بها جنوبا الى المنطقة الدووائية بحوالى ١٠ مليون طن . وواضح أن مثل هذه الكمية الضخمة من المياه بما تحويه من الكائنات الحية لا بد أن يكون عظيم الأهمية بالنسبة لأحياء البحر . ومن الممكن أن تدفع دوامات مماثلة من الجنوب نحو الشمال لتحمل بياه المنطقة الدووائية الى الجزء من المحيط الأبرد منها .

وهناك خصائص أخرى لتيار الخليج لم يكن يخطر وجودها يال أحد الى أن اكتشفها « فريدريك فيجلستر » (Frederick Füglisten) بمعهد « وودز هول » ، وهو فنان يشتغل بعلوم البحار منذ الحرب العالمية الأخيرة . فعندما رسم فوجلستر التيارات مستخدما التدرجات الحرارية التي قيست بواسطة راسم للحرارة المائية ، حصل على نمط يستفاد منه أن تيار الخليج يتكون من عدد من الشرائط أو الغدائر الطويلة الضيقة المتفرقة . وأن هذه الغدائر ليست متصلة على مدى آلاف الأميال ، بل القاعدة أن يتلاشى الغدير في مكان ما كي يبدأ غدير آخر في مكان آخر . أو بعبارة أخرى ، يبدو أن فكرة وجود تيار الخليج كتيار مفرد متصل طوال المسافة بين فلوريدا وأوروبا فكرة باطلة . وأقرب الى الصواب أن تصور أن التيار يتكون من غدائر تجرى بسرعة عالية

وتفرق بينها تيارات مضادة . وباستخدام جميع الوسائل الحديثة استطاع « ل.ف » ورثنجتون (L. V. Worthington) بمعهد « وودز هول » أن يؤيد هذه النظرية تأييدا راسخا ، وذلك بالدراسة المفصلة للقطاعات المستعرضة . ففى قطاع مستعرض يبلغ طوله ٣٠ ميلا استطاع « ورثنجتون » أن يميز وجود ثلاثة غدائر كبرى متفرقة ، يتدفق كل منها بسرعة ٣ أميال فى الساعة . وتبعه « جوتنر ورثهايم » (Gunther Wertheim) بمعهد « وودز هول » أيضا فأوضح تعقيد تيار الخليج وميله الى التغير عند ما اكتشف أن انتقال الماء بواسطة قطاع فلوريدا للتيار يتضاعف شهرا بعد شهر . وقد حسب تحرك الماء بقياسه للجهد الكهربائى بين « هافانا » و « كيوست » مستخدما أقطابا مثبتة الى أسلاك تلفراف ولايات الاتحاد الغربى من تلك النقطتين .

وقد أقنع « فوجلستر » نفسه بأن تيار اليابان أيضا يمكن أن يتكون من غدائر . وفى الحق أنه أينما نظر المرء وجد جو المحيط متقلبا . وقد وجد « هنرى ستوميل » أن التيارات شديدة التغير ، فكلما اشتدت الريح أو هذأت تولد عنها تيار دوار .

وفىما يلى أسوق استنتاجى من النظرية الجديدة المتعلقة بطقس المحيط . تتحرك المياه فى عرض البحر حركة متغيرة وغير منتظمة الى حد كبير . وإذا أطلقنا بالبحر علامة عائمة ، فيمكننا أن نتوقع أن التيار سوف ينقلها مسافة تقرب من نصف الميل فى الساعة ، غير أن السرعة والاتجاه يتغيران تماما من يوم لآخر . هذه الحركة غير المنتظمة - أو « ضوضاء » تيار المحيط - تمثل بطريقة ما تجاوب

البحر مع الضربات المتعددة التى يتلقاها من الرياح التى تهب فوق سطحه . وليس التجاوب بسيطاً ، كما أن العلاقة الرياضية التى تنطبق عليه ليست معروفة بعد . وواضح أن الطقس العارض للمحيط لا يسهم فى مقاومة التيارات الجوية صاعاً بصاع كما تفعل التيارات المناخية البطيئة .

ويمكن بصورة عامة فقط أن نربط بين التركيب الدقيق لتيارات المحيط وبين التيارات المناخية . ومن الواضح أن هذا فاشئ عن أن التيارات العنيفة لا يمكنها أن تبديد كل الطاقة التى يكتسبها المحيط من الرياح ، الا أن السبب الذى يكسب تيارات المحيط هذا التركيب الدقيق يعتبر مشكلة تفتقد المزيد من الدراسة والبحث .



الغلاف الجوي

الجزء الأول : الدورة الجوية

بقلم هازى ويكسلر

اهتم هازى ويكسلر بتقديم علم الأرصاد الجوية حين عهد إليه برئاسة قسم الخدمات العلمية في مكتب الطقس التابع للولايات المتحدة .

وقد سبق لدراسة الأرصاد الجوية في معهد « ماساتشوستس » للعلوم التطبيقية بعد تخرجه من كلية هارفارد عام ١٩٢٢ . وقد عمل أثناء الحرب العالمية الثانية في مكتب الجو التابع لسلح الطيران . وهو الآن رئيس الهيئة العلمية التي أوفدها الولايات المتحدة لدراسة القطب الجنوبي ضمن برنامجها للسنة الجيوفيزيائية الدولية .

الجزء الثاني : الطبقة الجوية المتأينة (الأيونوسفير) .

بقلم ت . ن . جوتييه

الكتاب هو رئيس أبحاث طبقات الجو العليا في قسم طبيعة انتشار الأمواج اللاسلكية التابع للمكتب الأعلى للمقاييس . ولد في ميسى - فلوريدا - وحصل على بكالوريوس وماجستير العلوم من جامعة فلوريدا . وفي عام ١٩٤٢ ترك جامعة « شمال كارولينا » حيث كان يجرى أبحاثه ، ليعمل أثناء الحرب في مكتب المقاييس قسم الراديو . ولا يزال « جوتييه » في منصبه هذا حتى الآن .

الجزء الثالث : الوهج القطبي والوميض الجوي

بقلم س . ت . ايلفى ، وفرانكلين . ١٠ . روش

كان المؤلفان زميلين في فرصد « مكسونالد » في « تكساس » حيث اشتركا في دراسة الوميض الجوي عام ١٩٣٥ - ١٩٣٦ ويعمل « ايلفى » الآن مديرا لمعهد الفيزياء الارضية بجامعة الاسكا . وقد حصل على الدكتوراه في طبيعة الكون (Astrophysics) من جامعة شيكاغو عام ١٩٣٠ ، وفي أثناء الحرب العالمية الثانية اشتغل بابحاث الصواريخ في معهد « كاليفورنيا » للعلوم التطبيقية .

ويشغل « روش » الآن مركز مستشار في قسم طبيعة انتشار الامواج اللاسلكية في مكتب المقياس الوطني . وقد حصل على درجة الدكتوراه في طبيعة الكون من جامعة شيكاغو عام ١٩٣٤ ، ولقى معظم السنوات التالية في مرصد « يركس » و « بيركنز » و « مكسونالد » .

الجزء الرابع : ظاهرة الصغير .

بقلم ل . س . و . ستورى

الكاتب فيزيائي انجليزي تخصص في علم الراديو ، ويعمل الآن في مؤسسة الواصلات اللاسلكية في مكتب ابحاث الدفاع في كندا . تخرج « ستورى » من جامعة كامبريدج عام ١٩٤٨ وحصل على مرتبة الشرف الاولى المضافة في العلوم الفيزيائية ، ومن ثم تابع ابحاثه في « ظاهرة الصغير » في الواصلات اللاسلكية « في عمل « كالندش » تحت اشراف ج . ا . راتكليف » (J. A. Ratcliffe)

وقد عمل بعد ذلك مدة أربع سنوات في مؤسسة ابحاث الرادار البريطانية في « مالرن » وهي السنوات التي كان فيها « كلف الشمس » أقل ما يمكن . والآن وقد عاد الكلف الشمسي إلى نشاطه ثانية فقد نشط ستورى بدوره وعاد دراسته لهذا الكلف مساهمة منه في برنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية .

الدورة الجوية

بقلم

هارى ويكسندر

نحن مدينون للغلاف الجوى بمدة أمور لا يحتاج انسان الى أن نذكره بها ، ونعنى بها الأكسجين ، والرطوبة ، والوقاية ضد اشعاعات الشمس القاتلة . ولكن من بين صفات الغلاف الجوى الواهبة للحياة نجد أن حركته هي أهم تلك الصفات ، وتلك حقيقة غاية فى الوضوح الا أنه يطيب للناس عن غير قصد ألا يعيروها التفاتا . ولنتصور ما يمكن أن يحدث لو أن الغلاف الجوى حول الأرض أصابه سكون مميث . فالرياح توزع الحرارة من المناطق الاستوائية الى المناطق الأخرى ، وتنقل الرطوبة من المحيطات وتسقط المطر على القارات ، وتدفع هواء المدن الفاسد بعيدا وتستعويض به الهواء النقى . أما العالم الذى لا رياح فيه فان درجة حرارته ترتفع فى المناطق الاستوائية الى حد لا يطاق ، ويجمد برد مروع فوق المناطق الأخرى ، وتجمد القارات وتتحول الى تراب بينما تختنق المدن .

ولحسن طالع الانسانية أن الغلاف الجوى يتميز بدورته العامة

التي تجعل الهواء في حركة دائمة سريعة حول الكرة الأرضية ،
بوما بعد يوم ، وسنة تلو أخرى . والطاقة اللازمة لدفع الغلاف
الجوى للقيام بهذه الدورة طاقة هائلة ، فالرياح ذات طاقة حركة
أكبر من مجموع الطاقة الكهربائية التي تولدها محطات الولايات
المتحدة طوال قرن . ويجب أن تتجدد هذه الطاقة باستمرار لأن
ما يفقد منها بالاحتكاك بين الرياح والتضاريس الأرضية كبير جدا ،
وإذا لم تزود الرياح بطاقة جديدة لا تلبث أن تفقد جميع طاقتها
في مدة تتراوح بين ٩ أيام ، ١٢ يوما والشمس بطبيعة الحال هي
مصدر هذه الطاقة فتسخن الهواء وتبخير الماء تتولد أشكال من
الطاقة تتحول الى حركة في الهواء .

ودورة الرياح في الغلاف الجوى ترجع الى أن المنطقة
الاستوائية من الأرض والمنطقة الدوستوائية (ما بين خط الاستواء
وخط عرض ٣٨ °) تمتصان من الاشعاع الشمسي أكثر مما
تشعان ، بينما تشع بقية مناطق الأرض أكثر مما تستقبل من هذا
الاشعاع . ونتيجة لذلك فإن الهواء الساخن في المناطق الاستوائية
يتجه نحو القطبين . هذه الحركة الرئيسية تسبب دورة الرياح في
الغلاف الجوى حول الأرض . أما مناطق الارتفاع والانخفاض ،
ونظام الرياح على خرائطنا الطقسية فلا تبدو بجانب هذه الدورة
سوى دوامات ضئيلة الشأن .

ويحاول علماء الأرصاد منذ ٣٠٠ عام أن يحصلوا على صورة
لما يجب أن تكون عليه الدورة العامة للرياح غير أن معظم أبحاثهم
لا تعدو أن تكون نظرية ، لأنه حتى في الوقت الحاضر ليس لدينا
سوى القليل من المعلومات عن طبقات الجو العليا لتخطيط الدورة

العامة تخطيطا شاملا من واقع الأرصاد المباشرة . هذا والمحيط الهوائى الذى نعيش فيه من الاتساع بحيث لو تقاسمه أفراد البشرية جميعا متعاونين فى تسجيل الأرصاد كل فيما يخصه لكان نصيب الفرد منهم مليونى طن من الهواء .

والآن نلقى نظرة على تطورات الصورة التقليدية المفترضة للدورة الهوائية العامة للغلاف الجوى . ولنبدأ بتخطيط بسيط آخذين فى حسابنا عامل الحرارة فقط . يرتفع الهواء القريب من خط الاستواء عاليا فى الجو ، ثم ينساب نحو القطبين الشمالى والجنوبى حيث يبرد وينخفض ثم يتحرك بعد ذلك وهو على ارتفاع منخفض نحو خط الاستواء . تشكل الدورة الهوائية فى هذه المرحلة الابتدائية حلقة رأسية هائلة بين الشمال والجنوب فى نصف الكرة الشمالى ، وحلقة مماثلة فى نصف الكرة الجنوبى .

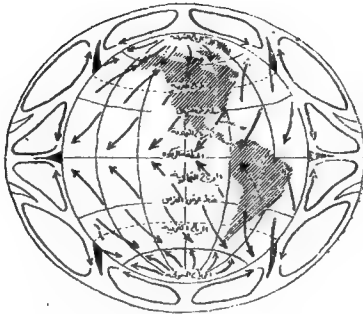
وفى المرحلة التالية نأخذ فى الاعتبار تأثير دوران الأرض . فالهواء لا يتحرك نحو القطب فحسب ، ولكنه يتحرك أيضا من الغرب الى الشرق تبعا لدوران الأرض . ويدور الهواء عند خط الاستواء بسرعة مماثلة لسرعة دوران الأرض ، وكلما اتجهنا نحو القطب نجد أن سرعة دورانه تتزايد بسبب اقترابه من محور الدوران ، وذلك من أجل المحافظة على بقاء كمية حركته الزاوية ثابتة ، ويحاكى فى ذلك تماما ازدياد سرعة الدوران لراقصة الباليه حول طرف قدمها عند ما تضم ذراعيها نحو جسدها . وعلى هذا تنشأ فى الهواء المتجه نحو القطبين فى الطبقات العليا رياح غربية : أى رياح متحركة من الغرب الى الشرق بسرعة أكبر من حركة دوران سطح الأرض . وبالعكس فإن الهواء القريب من سطح

الأرض والمتجه الى خط الاستواء تتناقص سرعته الدورانية كلما اتعد عن محور الدوران ، فتنشأ بذلك الرياح الغربية ، حيث تقل سرعة هذا الهواء عن سرعة دوران سطح الأرض .

وبحساب سرعة هذه الرياح الشرقية والغربية يتبين أنها قد تبلغ مئات أو آلاف الكيلو مترات في الساعة . ولكن هناك عامار ثالثا يجب اضافته الى النموذج العام للدورة الهوائية ألا وهو الاحتكاك . فعندما يتلامس الهواء المتحرك مع سطح الأرض فان سرعته النسبية (بالنسبة الى حركة الأرض الدورانية) تقل بسبب الاحتكاك . وقوى الاحتكاك هذه وهذا التناقص في عجلة الهواء يغيران من الصورة التي وضعناها لحركة الهواء ، اذ تنقسم الحلقة الشمالية الجنوبية الى خليتين أو ثلاث خلايا رأسية في كل من نصفي الكرة ، واحدة فوق المنطقة الاستوائية وواحدة فوق المناطق المتوسطة وربما واحدة في المنطقة القطبية .

والمفروض في التخطيط التقليدي ، أن هذه الخلايا هي التي تنشأ عنها الرياح الشرقية الاستوائية (الرياح التجارية) . ويوجد الآن دليل ثابت الى حد ما بالنسبة الى الخلية الاستوائية التي يطلق عليها اسم خلية « هادلي » نسبة الى عالم الأرصاد الانجليزي « جورج هادلي » George Hadley الذي اقترض وجودها منذ ٢٠٠ عام . وأشار الى أن هذه الخلية الاستوائية يمكن أن تفسر الرياح التجارية والرياح المضادة لها فوق المحيطات الاستوائية .

كذلك يوجد بعض الدليل الذي يسند وجود الخلية المتوسطة



شكل (١٢)

يبين الشكل المناطق الرئيسية لدورة الرياح في الغلاف الجوي ، مع اللبافة الكبيرة في قطاعها المستعرض ، كما يبين تخطيط الرياح على سطح الأرض . وتحدد الأشكال السوداء الواقعة بين الخلايا مواقع مناطق الضغط حيث يتحرك الهواء الى أعلا ، كما تحدد الأشكال البيضاء مواقع مناطق الضغط العالي حيث يتحرك الهواء الى أسفل . ويبين خط العرض (المنقوسان) متوسط مواعلي الجبهتين القطبيتين بالتقريب . وتسمى الخليتان الاستوائيتان بخليتي « هادلي » كما تسمى الخليتان اللتان تليهما بخليتي « فيريل » ، نسبة الى عالم الأرصاد الجوية اللذين اكتشفاهما .

التي سميت باسم « وليم فيريل » (William Ferrel) وهو عالم أمريكي افترض منذ ١٠٠ عام أنها موجودة .

ومنذ عهد قريب قام عالم الأرصاد الجوية الفنلندي «أ. بالمين» (E. Palmén) بإدخال تعديل على نموذج الخلايا بأن استبعد الخلية القطبية بدعوى أن الدورة الهوائية في المنطقة القطبية تكاد تكون أفقية بأكملها وعلى شكل دوامات ، ولكنه استبقى خليتي « هادلي وفيريل » (انظر شكل ١٣) . واستنادا الى الصورة الحالية التي تلعبها تجارب المعمل باستخدام نماذج تتميز بحركة

آلية دورانية فان هذه الحلقات الرأسية والدوامات الأفقية تلعب دورا هاما في الدورة الهوائية العامة للغلاف الجوى وأثر الحلقات الرأسية أوضح عند خطوط العرض المنخفضة . والدوامات الأفقية المذكورة عبارة عن رياح دائرية في حجم مناطق الارتفاع والانخفاض في خرائطنا الطقسية . ومن المحتمل وجود دوامات ذات أحجام مختلفة في الغلاف الجوى ، ولكننا لا نستطيع أن نلمس وجود الدوامات الصغيرة لأن محطاتنا عادة متباعدة جدا . على هذا يكون لدينا نموذج مقبول يخطط حركة الهواء في الغلاف الجوى . والآن نلقى نظرة على حموله هذا الهواء المتحرك .

والمادة الاولى في هذه الحموله عبارة عن كمية الحركة المكتسبة من الأرض . فالرياح القادمة من الشرق في اتجاه مضاد لدوران الأرض تلتقط بعض كمية حركتها الغربية لدى احتكاكها بها . وحيث ان الغلاف الجوى لا يحتمل أن يحدث تغييرا في معدل دوران الأرض فان كل ما حصلت عليه الرياح الشرقية من كمية حركة يجب أن تعيده الرياح الغربية الى الأرض . وهذا يعنى أن ما حصلت عليه الرياح الشرقية التى تسود المناطق الاستوائية والقطبية ، يجب أن تنقله الرياح الغربية الى خطوط العرض المتوسطة ، حيث تعود هذه الرياح الغربية . وتشير الأدلة الحالية الى أن معظم هذا الانتقال يتم عن طريق الدوامات الأفقية أكثر مما هو عن طريق الحلقة الرأسية الشمالية الجنوبية . وتنقل أكبر كمية من الحركة الدورانية عند خط العرض ٣٠° والذي يسمى « خط عرض الفرس » . وتكاد حركة الهواء أن تكون منعقدة عند هذا الخط قرب سطح البحر ، بينما تهب رياح خفيفة من الغرب قرب طبقة الأستراتوسفير (على ارتفاع ٤٠.٠٠٠ قدم تقريبا) .

والمادة الرئيسية الثانية في حمولة الغلاف الجوى هى الطاقة حيث يظهر بعضها على صورة حرارة والبعض الآخر على صورة طاقة حركة . وكما رأينا ، فإن الطاقة الواردة من الشمس تنتقل من المناطق الاستوائية نحو القطبين . ومن الممكن أن نحسب بصورة تقريبية كمية الطاقة التى يجب أن تنقل فى السنة . واستنادا الى أرصادنا تقوم الدوامات الأفقية بكل عملية النقل نحو القطبين ابتداء من خط عرض ٥٥° ولكن ليس دون ذلك من خطوط العرض . فمثلا عند خط العرض ٣٠° تنقل هذه الدوامات أقل من نصف الطاقة التى يجب نقلها . وليس بمقدورنا أن نقدر سبب هذا الفرق ، فربما توجد أخطاء فى عملية الحساب ، كما أنه من المحتمل أن تقوم حلقتا « هادلى وفيريل » بنصيب فى هذا النقل ، أو أن التيارات فى المحيطات تحمل من الطاقة أكثر مما قدرناه .

أما الملادة الثالثة فى حمولة الغلاف الجوى فهى البخار . وهو فى الواقع نوع من الطاقة المنقولة لأنه يمثل الحرارة الكامنة . وبالمثل عندما تقدر كمية لبخار التى تنقلها الدورة الهوائية الأفقية والرأسية نلاحظ أن الدوامات الأفقية تنقل كل الحمولة فى الخطوط العليا وليست فى الخطوط المنخفضة من خطوط العرض .

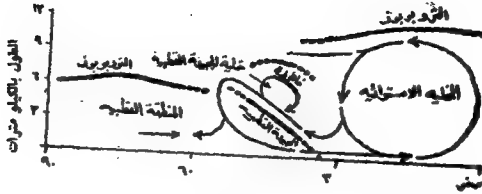
ويبدو أن هذا يؤكد الاستنتاج القائل بأن حلقة « فيريل » تقوم بدور هام فى نقل الطاقة الى القطبين . وتدل الأرصاد كذلك على أن تكثيف بخار الماء فى مناطق شمال خط العرض ٣٨° يزيد على البحر عند السطح ، بينما العكس صحيح فى المناطق جنوبى خط عرض ٣٨° ، باستثناء حزام منطقة الأمطار الاستوائية .

تم هذه الدورة التى بحثناها فى طبقة التروبوسفير وهى المنطقة التى تشمل الجزء الأسفل من الغلاف الجوى حتى الارتفاع ٣٠٠٠٠ الى ٥٠٠٠٠ قدم ثم تساءل هل توجد دورة هوائية بين

طبقة التروبوسفير والاستراتوسفير التي تعلوها؟ ويبدو، بصورة مبدئية، ان وجود مثل هذه الدرة غير محتمل، حيث ان الميل الحرارى الحاد عند السطح الفاصل بين الطبقتين يشكل سقافوق طبقة التروبوسفير مما يجعل حركة الهواء الى أعلى مستحيلة. غير أنه يوجد الكثير من الأدلة على أن هواء كل من المنطقتين يختلط بعضه بالآخر. فمثلا نعلم أن الهواء حتى ارتفاع ٤٠ ميلا له نفس التكوين الغازى، ونعلم كذلك أن الهواء الجاف تماما في طبقة الاستراتوسفير يتحرك الى أسفل نحو سطح الأرض وأن الهواء الرطب الذى في طبقة التروبوسفير يتحرك الى أعلى نحو طبقة الاستراتوسفير. وأقوى دليل حاسم على هذا الامتزاج الرأسى ان بعض الغازات التى تتكون في طبقة الاستراتوسفير أو تحتها بقليل، مثل الأوزون والكربون ١٤، والبريليوم ٧، والأرجون ٣٧، تهبط الى أسفل ويمكن ملاحظة وجودها في الهواء القريب من سطح الأرض.

كيف يتهى للهواء أن يخترق هذا الحاجز المفترض (التروبوبوز) بين طبقتى التروبوسفير والاستراتوسفير؟ يمكننا استنباط الاجابة عن هذا السؤال من نموذج « بالين » ففي الجانب المتجه الى القطب من كل من حلقتى « هادلى وفيريل » توجد فجوة في « التروبوبوز » كما هو موضح بالشكل (١٣). يتسرب الهواء من طبقة التروبوسفير الى طبقة الاستراتوسفير وبالعكس خلال هذه الفجوة. وعلى امتداد هذه الفجوة تهب رياح غربية أفقية سريعة. وأحد هذين التيارين هو « نافورة الجبهة القطبية »، بينما يسمى التيار الآخر « بنافورة الجبهة الدوستوائية ».

بحثنا حتى الآن دورة الرياح في الغلاف الجوى على أساس أنها نظامين مختلفين تماما، أحدهما في نصف الكرة الشمالى،



العرض بالدرجات

شكل (١٢)

نموذج « بالين » الذي يوضح الامتزاج الراسي للهواء بين طبقتي التروبوسفير (اسفل « التروبوبوز ») وطبقة الاستراتوسفير (اعلى « التروبوبوز ») . وبالنموذج خلية استوائية (خلية هادلي) و خلية المنطقة المتوسطة (خلية فريل) ، وكلتاهما تعددها تماما دورة راسية قوية ، الا انه لا توجد خلية واضحة ذات دورة راسية فوق المنطقة القطبية . بعكس ما هو معروف بالنموذج التقليدي الموضح بالشكل (١٢) . وفوق خلية الجبهة القطبية (التي تعتبر خلية اضافية بالنسبة لخلية المنطقة المتوسطة) يبين تيار النافورة فجوة « التروبوبوز » التي يمر الهواء خلالها بين طبقتي التروبوسفير والاستراتوسفير .

والآخر في النصف الجنوبي . وفي الواقع يوجد تبادل في الهواء بين نصفي الكرة الأرضية . واستنادا الى قراءات ضغط الهواء نلاحظ أن وزن الهواء في نصف الكرة الشمالي هو في الصيف أقل قليلا منه في فصل الشتاء . وهذا يعني أنه لا بد وأن بعض الهواء يتدفق الى النصف الجنوبي ويتم معظم هذا الانتقال في فصل الربيع للنصف الشمالي من الكرة الأرضية . وعند نهاية فصل الشتاء في النصف الجنوبي يبدأ تدفق عكسي من النصف الجنوبي الى النصف الشمالي .

ويأمل علماء الأرصاد الجوية أن يتمكنوا من الحصول على صورة واضحة لدورة الرياح في الغلاف الجوي في أثناء السنة الجيوفيزيائية الدولية . حيث يعتمدون انشاء عدة سلاسل من المحطات تنتشر بين القطبين وربما تقع احدى هذه السلاسل بين

خطى الطول ٧٠° ، ٨٠° غربا ، فتبدأ قرب القطب الشمالى مارة بالجزء الشرقى من أمريكا الشمالية وعلى امتداد الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية حتى المنطقة المتجمدة الجنوبية كما أن فى النية انشاء سلاسل أخرى على امتداد خط الطول ١٠° شرقا (أوروبا وأفريقيا) وعلى امتداد خط الطول ١٤٠° شرقا (سيبيريا واليابان وأستراليا) . كما أن من المحتمل أيضا أن تتصل هذه المحطات بعضها ببعض لتشكل سلاسل على امتداد عدد من خطوط عرض . وسوف تحصل كل سلسلة من هذه المحطات يوميا على صورة لقطع الغلاف الجوى حيث يقاس الضغط ، ودرجة الحرارة ، والرياح عند ارتفاعات مختلفة حتى ١٠٠٠٠٠ قدم ، وبهذا تمتد مشاهداتنا حتى بالطبقة المتأينة ، وهكذا يحتمل ان توضح لنا الأشعة فوق البنفسجية الواردة من الشمس سبب اضطراب الجو عند سطح الأرض فى بعض الفترات .

وسوف تقوم هذه المحطات أيضا بأرصاد أخرى عديدة ، منها دراسة شدة الاشعاع الشمسى ، وقياس ثانى أكسيد الكربون ودراسة تأثيره فى تدفئة سطح الأرض . كما تقوم الطائرات يوميا بدراسات بدائية فيما اذا كان يياض الثلج والجليد والسحاب فوق مساحات واسعة يمكن أن تعتبر دليلا على التغيرات التى تطرأ على الطقس على نطاق واسع .

وقد لا تكون المشاهدات فى منطقة الجليد الجنوبية أقل أهمية فى محيط دراسات الأرصاد الجوية فالمحطات السبع المزمع انشاؤها فوق القارة المتجمدة ستقوم بأول عملية استكشاف لطقسها . وحيث ان المنطقة المتجمدة الجنوبية أكثر مناطق الأرض برودة وأشدّها استمرارا فى انخفاض الضغط ، فان أثرها فى الطقس فى عالمنا ربما يكون أكبر بكثير مما تصوره لنا سمعنا او بعدها عنا .

الطبقة الجوية المتأينة (الأيونوسفير)

بقلم

د . ه . جوينيه

منذ ثلاثة أرباع القرن حاول عالم الفيزياء والأرصاد الجوية الاسكتلندي « بلفور ستewart » (Balfour Stewart) أن يفسر التغيرات اليومية التي تطرأ على المغنطيسية الأرضية فاقترح ما بدا آنذاك فكرة بعيدة الاحتمال ، وفحواها أنه يوجد بالطبقات العليا من الجو طبقة هوائية موصلة للكهرباء ، وأن حركة هذا الهواء واختراقه للمجال المغنطيسي الأرضي تولد تيارات كهربائية ، وهذه بدورها تحدث مجالات مغنطيسية يمكن الاستناد اليها عند التغيرات اليومية في القياسات المغنطيسية .

ونظرا الى أن طبقات الجو العليا كانت آنذاك مجاهل لم تطرقها آلة من صنع الانسان فان ما تضمنته فكرة « ستewart » الرائعة لم تلق قبولا عاما . ولكن في عام ١٩٠١ عندما أرسل « جوليلمو ماركوني » (Guglielmo Marconi) اشاراته اللاسلكية عبر المحيط الهادئ وحول سطح الأرض المنحنى ، أثارت

طبقات الهواء العليا اهتماما جديدا . وافاق الفيزيائيون يفترضون أن أمواج الراديو التى تعبر الأفق تواصل مسارها خلال الغلاف الجوى فى خط مستقيم ثم تتبدد فى الفراغ . ولتفسير ارسال « ماركونى » للإشارات اللاسلكية البعيدة المدى حول الأرض أحيا كل من « آرثر كينلى » (Arthur E. Kennelly) فى الولايات المتحدة « واوليفر هيفيسايد » (Oliver Heaviside) فى إنجلترا كل على حدة ، فكرة وجود طبقة متأينة فى الجو العلوى تسبب انعكاس الموجات اللاسلكية الى الأرض .

مضى بعد ذلك ما يناهز ربع القرن دون الحصول على المزيد من المعلومات عن هذه الطبقة ، الى أن استطاع « ادوارد أبلتون » (Edward Appleton) و « م. أ. ف. بارنيت » (M. A. F. Barnett) فى إنجلترا فى أواخر عام ١٩٢٤ أن يجدا دليلا مباشرا هاما على وجود هذه الطبقة المتأينة عندما أخذوا قياسات دلت على أن أمواج الراديو الصادرة من محطة بعيدة عادة الى الأرض مائلة بزاوية معينة . وبعد شهور قليلة تحقق وجود الطبقة المتأينة وتحدد مكانها بشكل نهائى . ففى صيف عام ١٩٢٥ قام كل من العالمين الفيزيائيين جريجورى برايت (Gregory Breit) وميرل توف (Merle Tuve) بقسم المغنطيسية الأرضية فى معهد « كارنيجى » بواشنطن بتجربة تاريخية بالتعاون مع معمل أبحاث البحرية الأمريكية فى « البوتوماك » . أرسلت نبضات قصيرة من أمواج الراديو من مرسل فى معمل أبحاث البحرية المذكور الى السماء مباشرة . وعلى بعد ثمانية أميال استقبل « برايت » و « توف » صدى هذه النبضات بجهاز استقبال ، وسجلها على راسم للذبذبات (وكان هذا أول اخراج لفكرة الردار) وتوقيت هذه النبضات أمكن

حساب ارتفاع الطبقة العاكسة . وعندئذ لم يكن هناك أدنى شك في وجود طبقة متكهربة أومتأينة من طبقات الغلاف الجوى . وكان عنوان المقال الذى نشره « برايت » و « توف » عن هذه التجربة هو « تجربة أثبتت وجود الطبقة الموصلة للكهرباء » .

والطبقة المتأينة عبارة عن رداء كثيف من الهواء المتأين ، عرف الآن أنه يتألف من أربع طبقات مختلفة ، تشغل المنطقة التى تقع بين الارتفاع ٤٥ ميلا و ٢٠٠ ميل فوق سطح الأرض . وترجع خصائصها الكهربائية الى وجود الالكترونات الحرة والذرات والجزيئات المتأينة (بعضها موجب الشحنة والبعض الآخر سالبا) . والسبب الرئيسى لهذا التأين هو الاشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس . هذا الاشعاع تمتصه الطبقات العليا من الجو بحيث يتعذر الكشف عنه عند سطح الأرض .

واستجابة لسيول من الجسيمات والاشعاعات القادمة من الشمس ولقذائف الشهب ، وكذلك لجاذبية الشمس والقمر التى تحدث مدا وجزرا فى الغلاف الجوى ، فان الطبقة المتأينة تبدو كالبحر الهائج ، فهى تتغير من ساعة لساعة ، ومن يوم ليوم ، ومن فصل لفصل ، وفى بعض الأحيان تتعرض لمواصف كهربائية ومغناطيسية هائلة .

ومن وجهة الحياة العملية ، نجد للطبقة المتأينة أهمية خاصة من الناحية التطبيقية والاقتصادية . فبدونها يستحيل استعمال المواصلات اللاسلكية ذات المدى البعيد . غير أن اضطرابات الطبقة المتأينة وتموجاتها تتدخل فى نفس الوقت تدخلا ضارا بهذه المواصلات . ففى بعض الأحيان تكون سببا فى ضعف

استقبال هذه الأمواج في مساحات كبيرة من الأرض ، وفي أحيان أخرى تسمح هذه الطبقة باستقبال أمواج التلفزيون لمسافات مذهلة حول الأرض .

والإلكترونات الحرة في الطبقة المتأينة هي التي تلعب الدور الرئيسي في أثر هذه الطبقة على أمواج الراديو . فعند ما تدخل موجة الراديو الطبقة المتأينة تتأرجح هذه الإلكترونات الى الأمام وإلى الخلف بسبب المجال الكهربائي للموجة . وكل إلكترون متحرك يصبح مولدا لموجة لاسلكية لها نفس ذبذبة الموجة الساقطة . نتيجة جزء من هذه الاشعاعات الجديدة الى أعلى في اتجاه الموجة الساقطة ، وينطلق الجزء الآخر الى أسفل في الاتجاه الذي قدمت منه هذه الموجة . وكلما تعمقت الموجة في الطبقة المتأينة تقابل كثافة أكبر في الإلكترونات ، وهكذا تتناقص طاقة الموجة تدريجيا الى أن يقف تقدمها الى أعلى ، ولا يبقى غير اشعاعات الإلكترونات المتجهة الى أسفل . وبمعنى آخر ، تنعكس الموجة الساقطة (لاتساهم الذرات المتأينة والجزيئات المتأينة الا بنصيب ضئيل في عكس هذه الأمواج بسبب ثقلها بالنسبة للإلكترونات ، مما يجعلها تستجيب بشكل ضعيف لأمواج الراديو) .

تنعكس الموجة اللاسلكية أثناء اختراقها سحابة من الإلكترونات عند ما تزداد كثافة الإلكترونات الطليقة في هذه السحابة بحيث يصبح عددها في المليمتر المكعب الواحد مساويا ١٢ر٤ مرة قدر مربع تردد الموجة مقدرا بالميجاسيكل (مليون سيكل) لكل ثانية . فمثلا اذا كان تردد الموجة خمسة ميجاسيكل في الثانية فانها تنعكس عند ما تكون كثافة الإلكترونات ١٢ر٤ × ٢٥ أى ٣١٠ إلكترون في كل مليمتر مكعب واحد .

وهكذا يمكن تعيين الالكترونات وكذلك ارتفاع كل طبقة عاكسة في الايونوسفير بأن نرسل اشارات لاسلكية ذات ترددات مختلفة . وبطبيعة الحال توجد عوامل معقدة تدخل في الحسابات ، منها المجال المغنطيسي للأرض ، والذي يجعل من الايونوسفير وسطا تنكسر فيه الأمواج اللاسلكية انكسارا مزدوجا ، بمعنى أنه يقسم الأمواج الى مركبتين . ومن العوامل المعقدة أيضا تباطؤ الموجة اللاسلكية أثناء اختراقها لطبقة تتزايد فيها كثافة الالكترونات . يستدعى هذا التأخير اجراء تصحيح عند تعيين ارتفاع الطبقة العاكسة ، حيث أن أساس قياس الارتفاع هو الزمن الذي تستغرقه الموجة اللاسلكية باعتبار أنها تتحرك بسرعة الضوء

ويسمى الجهاز الذي يستخدم في الكشف عن الطبقة المتأينة « بالأيونوسوند » وهو يتركب من مرسل للاشارات اللاسلكية ومن مستقبل يسجل صداها ، وكلاهما في صندوق واحد . وعند اجراء التسجيل للحصول على ما يسمى « بالأيونوجرام » يوفى المرسل والمستقبل بسرعة للعمل في نطلق معين من الذبذبات ، ونعرض الأصداء على شاشة راسم الذبذبات وتصور . وعندئذ تكون المسافة بين خط الأساس الذي يمثل زمن الارسل وبين المسار الذي يوضح عودة الصدى ، مقياسا للزمن الذي استغرقتة الموجة ذهابا وايابا .

ويرمز لأقل الطبقات المتأينة ارتفاعا بالرمز (د) ولم يتم قياس كثافة الالكترونات في هذه الطبقة قياسا دقيقا ، ولكن من المعلوم أنها كثافة صغيرة لأن هذه الطبقة لا تعكس الموجات التي يبلغ ترددها واحد ميغاسيكل فأكثر .

ويعلو الطبقة (د) ثلاث طبقات أخرى متأينة ، حددت ارتفاعاتها

وكثافة الالكترونات بها بدقة أكبر . هذه الطبقات هي طبقة «هـ» (وتمتد بين ارتفاع ٦٠ الى ٩٠ ميلا فوق سطح الأرض) ، ثم طبقة « و » (بين ٩٠ ميلا ، ١٥٠ ميلا) وأخيرا طبقه « و٣ » (فوق ١٥٠ ميلا) . وتزايد كثافة الالكترونات من طبقة لأخرى . ولكنها تتغير في الطبقة الواحدة من النهار والليل ومن فصل الى فصل . ونجد نهارا في أكتف جزء من طبقة هـ ١٢٠ الكترون في كل ملليمتر مكعب ، وفي طبقتي و٣ ، و٣ نجد على الترتيب ٢٢٠ الكترونا ، ٤٥٠ الكترونا في الملليمتر المكعب .

وتتوقف ذبذبة الموجات المنعكسة على كثافة الالكترونات . فكلما زادت كثافة الطبقة زادت ذبذبة الموجة التي تعكسها . ولهذا فان طبقة «هـ» تعكس الأمواج التي تصل ذبذبتها الى ٣ ميغاسيكل في الثانية (مرسله في اتجاه رأسى) عند ما تكون أقصى كثافة لها ١٢٠ الكترون / ملليمتر مكعب . وفي هذه الحالة تقول ان ٣ ميغاسيكل هي « الذبذبة الحرجة » . فالذبذبات التي تزيد عن هذا المقدار لا تعكسها هذه الطبقة بل تنفذ منها الى الطبقات التالية .

والتغير في تردد الذبذبات الحرجة التي تعكسها الطبقات المختلفة المكونة للأيونوسفير تكشف عن التغيرات التي تطرأ عليها ، وهذا يشير الى تزايد أو تناقص كثافة الالكترونات . فالكثافة ، وهي في الواقع مقدار التأين ، تزداد أثناء النهار عنها في الليل ، ولكنها قد تقل في الصيف عنها في الشتاء . وتزداد الكثافة بتزايد نشاط الكلف الشمسى في دورة مدتها أحد عشر عاما . كما توجد تغيرات أخرى مرتبطة بخطوط العرض الجغرافية والمغناطيسية وبالمدة والجزر الناشئين عن جاذبية القمر والشمس ، وكذلك بالرياح القوية التي توجد في الأيونوسفير .

والى جانب التغيرات المنتظمة نجد تغيرات أخرى عديدة أقل شأناً وتبدو غير خاضعة لنظام معين . فارتفاع الطبقات وكثافتها تتغير من دقيقة لأخرى بشكل لا يسوده أى نظام . وبعض هذا الشذوذ يعود الى تقلبات الرياح فى الطبقات العليا ، وبعضها ناشئ عن تغيرات الأشعة فوق البنفسجية وتيارات من الجسيمات التى تحدث الوهج القطبى ، وكذلك الشهب التى تهجم الأيونوسفير وتسبب الى حد كبير اضطراب المنطقة ه : فمرور شهاب فى الطبقة المتأينة يضعف التأين آلاف المرات وقت مروره وان كان ذلك لا يستغرق أكثر من جزء صغير من الثانية .

وأحد أسرار للأيونوسفير الهامة هو نوع من عدم الانتظام الذى يلزم الطبقة ه أحيانا حيث تعكس فجأة موجات اللاسلكى التى تنفذ عادة من الأيونوسفير بأجمعه وعلى هذا فان التليفزيون الذى يحدد الأفق مداه عادة ، يمكن استقباله فى هذه الحالة على بعد مئات الأميال من المرسل .

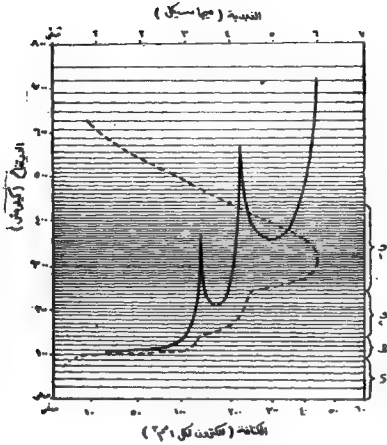
والاضطرابات الكبيرة فى المجال المغنطيسى للأرض ، والتى تسمى أحيانا بالعواصف المغنطيسية ، تحدث فى الأيونوسفير تغيرات سريعة فى كثافة الالكترونات وخاصة فى المنطقة و_م ، كما تسبب عدم انتظام جزئى فى التركيب الطبقي للأيونوسفير . والمعتقد أن هذه الاضطرابات ناشئة عن قذائف مركزة من الجسيمات تصدر عن الشمس .

تندفع هذه التيارات المركزة من الجسيمات فى المجال المغنطيسى للأرض وتثير اضطرابات فى المجال الأرضى ، كما تولد تيارات كهربائية قوية تسبب تغيرات أخرى فى المجال المغنطيسى للأرض .

يشارك المجالان الكهربائي والمغناطيسي في اثاره المناطق المتأينة وازاحة مجموعات من الأيونات ، وهكذا تغطي هذه التغيرات السريعة على العمليات المنتظمة في استاج الالكترونات وتجميعها وإعادة توزيعها عن طريق التداخل أو الرياح ، ولذلك تتغير طبيعة الأيونوسفير تغيرا شديدا .

وتعاني طبقة الأيونوسفير تغيرا هاما نتيجة انبعاث أضواء مفاجئة من الشمس تعرف بالانفجارات الشمسية . وينبعث مع كل انفجار شمسي كمية من الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية ، يتلوها زيادة هائلة مفاجئة في التأين في الطبقة د . ونظرا لتضايف عدد الجزيئات المتأينة فإن الطبقة د تمتص جزءا كبيرا من طاقة الامواج اللاسلكية المارة خلالها فيحدث ضعف مفاجيء في استقبال الموجات اللاسلكية . وقد تستغرق المنطقة د زمنا ، يتفاوت بين دقائق قليلة الى عدد من الساعات ، لتستعيد تأينها المعتاد ، ويتوقف هذا على درجة الاضطراب وشدته .

وتتغير كثافة الالكترونات في الأيونوسفير فتزايد وتنقص في دورة تستغرق أحد عشر عاما ، متطابقة مع دورة الأحد عشر عاما للكلف الشمسي . ففي الطبقة و_م مثلا قد تبلغ كثافة الالكترونات (مقدرة بطريقة قياس الذبذبة الحرجة للأشعة المنعكسة) عند ما يكون نشاط الكلف الشمسي في ذروته ، ضعف كثافتها في حالة أدنى نشاط للكلف الشمسي . وواضح أن الاشعاع فوق البنفسجي والاشعاعات القصيرة يزداد مقدارها ازديادا ملحوظا عند ما يكون النشاط الشمسي في ذروته . رغم أن الاشعاع في المدى المرئي يظل هربيا على ما هو عليه . وحركة الطبقات العليا من



شكل (١٤)

يمكن التمييز بين الطبقات المختلفة في الايونوسفير بقدرتها على عكس امواج الراديو (المنحنى الاسود تدريج التردد العلوى) وبكثافة الالكترونات (المنحنى المتقطع والتدريج السفلى) . وعلى هذا فان الطبقة هـ تعكس الامواج في حدود ذبذبة قدرها ٣ ميجاسيكل . اما الذبذبات التي تزيد على هذا المقدار فتنفذ خلالها وفي هذه الطبقة تتزايد كثافة الالكترونات تزايدا سريعا كلما زاد الارتفاع ، حتى ١٢٥ ميلا ، ثم تتزايد بعد ذلك بمعدل اقل حتى ارتفاع ١٥٠ ميلا حيث تبدأ الطبقة و . وتبلغ كثافة الالكترونات اقصاها في الطبقة و٢ بين ارتفاع ٣٠٠ ميل وارتفاع ٤٠٠ ميل كما هو مبين بالمنحنى المتقطع ، وكذلك بتقارب الخطوط الافقية . ولم يتم قياس كثافة الالكترونات قياسا دقيقا فيما دون الطبقة هـ وفيما وراء الطبقة و٣ .

الغلاف الجوى حيث توجد الطبقات المتأينة ، تؤثر تأثيرا هاما على توزيع التآين . ووجود المجال المغنطيسى الأرضى يزيد في تعقيد

هذا التوزيع ، اذ أن حركة الهواء المتأين خلال خطوط القوى المغنطيسية ينتج عنها مجال كهربائي . ويعرف هذا التأثير « بتأثير الدينامو » . وهذا المجال الكهربائي يؤثر بدوره على عمليات التأين في المناطق المتخلفة من الغلاف الجوى . فحركة الهواء في المنطقة هـ قد تولد مجالا كهربائيا يؤثر على التأين في المنطقة وـ . ومثل هذه التفاعلات بين الأيونوسفير والمجال المغنطيسى تكسب الأيونوسفير أنواعا من المظاهر يصعب ادراكها .

كان الجيوفيزيائيون يميلون الى الأخذ بفكرة « بلفور ستوارت » القائلة بأن « تأثير الدينامو » للحركة المتذبذبة المتأينة في أعالي الغلاف الجوى هو سبب التغيرات اليومية في المجال المغنطيسى للأرض ، الا أنه مضت سنوات عديدة دون أن يكون من السهل الاقتناع بأن هذه الذبذبات يمكن أن تكون كبيرة ذات طور مناسب بحيث تقصر وجود التغيرات المغنطيسية المشاهدة . وقد وجد الجواب على ذلك في نظرية الرنين الحديثة التى تنبأت بأن ذبذبات الجو التى يحدثها المد والجزر بسبب جاذبية الشمس ، يجب أن تظهر رنيناً فترته الزمنية ١٢ ساعة . وقد أوضح « س.ل. بيكرين » (C. L. Pekeris) بانجلترا أن الحركة التذبذبية للهواء فوق ارتفاع ٣٠ ميلا يجب أن تكون فى اتجاه مضاد لحركته عند سطح الأرض ، وأن مدى الحركة يجب أن تزايد بزيادة الارتفاع ، بحيث ان هذا المدى فى الجزء الأسفل من الأيونوسفير هو ٣٠٠ مرة قدر قيمته عند سطح الأرض . وهكذا فقد تنبأت هذه النظرية بوجود ذبذبة عند ارتفاعات مماثلة للأيونوسفير لها من الطور والمدى ما يكفى لتوليد تيارات كهربائية قادرة على احداث التغيرات اليومية فى المجال المغنطيسى الأرضى .

وفي عام ١٩٣٩ وجد كل من « ابلتون » و « ك. ويكس » (K. Weeks) في انجلترا ذبذبة فترتها $1/12$ ساعة في الطبقة ه تجعل الهواء يصعد ويهبط لمسافة تقرب من ميل . وينسب مصدر هذه الذبذبة الى تأثير القمر الذي يستغرق مده وجزره فترة زمنية مساوية . وفي تسجيلات المعهد الجيوفيزيائي لطبقات الأيونوسفير في « بيرو » اكتشف أن للقمر تأثيرا واضحا . فالذبذبة القمرية تقسم و٣ الى شطرين . وقد أوضحت تسجيلات الصدى أن الشطر العلوى من هذه الطبقة يرتفع . وتحدث هذه الظاهرة في أثناء ساعات النهار فقط . وقد ظهر أن القمر هو سبب هذه الظاهرة . ويتضح ذلك من أن فترة تكرار تباعد الشطرين تتفق مع فترة الذبذبة القمرية للأيونوسفير .

ويمكن شرح هذا الأثر كما يلي : تولد الذبذبة القمرية للأيونوسفير مجالا كهربائيا أفقيا كبيرا في اتجاه الشرق والغرب . يؤثر هذا المجال على تأين الطبقة و٣ في اتجاه عمودى على اتجاه المجال المغنيسى للأرض فيسبب حركة الأيونات الى أعلى . وفي نفس الوقت لا تزال أيونات جديدة تستحدث عند الارتفاع المعتاد بسبب الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس . وعلى ذلك ، بينما ترتفع الطبقة القديمة تشكل طبقة جديدة تحتها . وعند ما يكون صعود الطبقة القديمة سريعا الى درجة كافية يحدث الاتصال الملاحظ بين الطبقتين .

وقد استحدثت عدة طرق لتتبع الرياح وحركة الهواء المتأين في الأيونوسفير ولعل أبسط جهاز لقياس سرعة الرياح في الأيونوسفير هو ذلك الذى يستغل خاصية أن سطح الطبقة العاكسة يكون عادة غير منبسط تماما ويشبه سطح البحر ، وعلى

ذلك تكون الموجة المنعكسة عليه غير منتظمة ، وتختلف شدتها من مكان لآخر . وفي الطريقة المبينة على هذا الأساس ترسل الأمواج اللاسلكية في اتجاه رأسى ويسجل صداها بوسيلة ثلاثة هوائيات عند رءوس مثلث طول ضلعه حوالى ١٠٠ ياردة . فإذا كان الهواء المتأين فوقها متحركا في اتجاه أفقى فإن الشكل غير المنتظم للموجة المنعكسة يتحرك في نفس الاتجاه ، وتبعاً لذلك يضعف الصدى . ويتكرر نوع ضعف الصدى الذى يحدث في هوائى عند هوائى آخر في اتجاه الريح (مثلا بعد ثائتين من الزمن) (انظر الشكل ١٥) . وبهذه الطريقة يمكن تحديد السرعة واتجاه الحركة في الأيونوسفير . وليس لدينا ما يؤكد أن الشكل المتحرك الذى نحصل عليه يجب أن يدل على وجود رياح ، اذ ربما يكون مجرد انعكاس حركة موجية مثل أمواج بركة الماء ، ولكن دلت القياسات لهذه الحركة على أن لها الكثير من صفات الرياح ، والاحتمال الأقوى أنها فعلا رياح حقيقية .

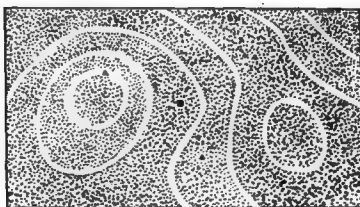
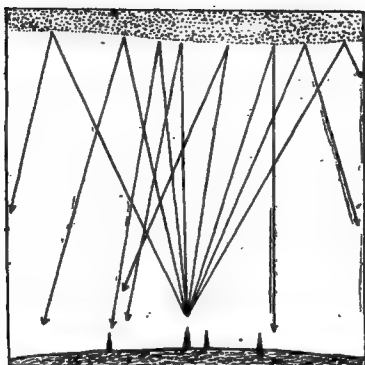
وهناك تفسير في هذا الأسلوب يقضى بمتابعة الشكل غير المنتظم للأيونوسفير بتأثيره على الضوضاء اللاسلكية القادمة الى الأرض من الفضاء الخارجى ، اذ تتغير شدة هذه الاشارات اللاسلكية بحركة الهواء المتأين عبر مسارها من مصدرها البعيد . ويمكن تحديد سرعة هذه الحركة واتجاهها يأخذ تسجيلا عند ثلاث قط مختلفة .

وقد استحدث « ل . أ . ماننج » (L. A. Manning) و « أ . ج . فيلارد » (O. G. Villard) و « أ . م . بيترسون » (A. M. Peterson) من جامعة « ستانفورد » طريقة طريفة ولكن أشد تعقيد لقياس حركة الهواء في الأيونوسفير . فهم يتابعون حركة الشهب في

الطبقة هـ بوساطة الزادار . فاذا سببت الرياح انحرافا في الإثر المتأين خلف شهاب مار منها في اتجاه جهاز الرادار المستقبل فإن تردد الموجة المنعكسة يزداد بنسبة سرعة الرياح حسب قاعدة « دوبلر » . أما اذا انحرف المسار بعيدا فإن التردد يقل . وتستطيع بعض الأجهزة الحساسة قياس مدى الانحراف الناشئ عن تأثير « دوبلر » ، حتى ولو كان زمن المسار جزءا من الثانية . وتتفق النتائج المستخلصة بهذه الطريقة مع نتائج طريقة ضعف الصوت . وخلال نيف وخمسين عاما التي اقتصت على تجربة « مركوني » تطور استغلال خاصية عكس الأيونوسفير للأمواج في خدمة المواصلات اللاسلكية البعيدة المدى تطورا كبيرا وسار قدما في طفرات واسعة .

وفي هذه الأيام نلاحظ أن نطاق الذبذبات التي يمكن عكسها على الأيونوسفير قد أصبح مزدهرا الى درجة أن عددا كبيرا من المحطات قد أخذت تتداخل الواحدة منها في الأخرى . وأحد أغراض أبحاث الأيونوسفير في المعاهد مثل معهد المقاييس الأهلى هو الحصول على معلومات أساسية عن أفضل الطرق للاستفادة

من طيف الراديو المتوفر . وبالطبع من المهم معرفة الحد الأعلى للتردد الذى يمكن عكسه بوساطة الأيونوسفير . كما أن البيانات عن التأين التى توضح توزيع كثافة الإلكترونات ضرورية لهذا الغرض . وتوجد الآن ٧٥ محطة في أنحاء العالم (باستثناء الموجود منها في الستار الحديدى) تقوم بتابعة التغيرات في الأيونوسفير وتدير الولايات المتحدة أو تساعد في الاتفاق على ١٩ محطة وكل محطة تقوم بتسجيل الأيونات مرة على الأقل في كل ساعة من ساعات اليوم . تجمع المعلومات من هذه السجلات وترسل الى



شكل (١٥)

يمكن التعرف على رياح الايونوسفير من التغيرات في شدة امواج الراديو المنعكسة من السطح الاسفل الثائر للايونوسفير (اعلى الرسم) . والتغيرات في شدة الامواج المنعكسة ، كما نشاهدنا باستقبالها بثلاثة هوائيات موزعة عند رموس مثلث ، يتضح شكلها على جهاز الاستقبال ، ويتحرك تبعاً لحركة رياح الايونوسفير سرعة واتجاها .

مركز تحليل المعلومات حيث يستفاد من النتائج في التنبؤ بالنهاية العظمى للترددات التي يمكن استخدامها .

ويقوم مكتب المقاييس الأهلى بعمل خرائط من هذا القبيل كل شهر . وتبين هذه الخرائط النهاية العظمى للتردد الذى يمكن استخدامه عند خطوط العرض الجغرافية المختلفة ، والوقت المحلى المناسب لهذا الاستخدام . ويمكن تطبيق كل واحدة من هذه الخرائط على الارسل فوق مسافة معينة والانعكاس من طبقة معينة . كما يمكن استنباط مثل هذه المعلومات بالنسبة لمسافات أخرى بواسطة معادلة رياضية نشرت فى مقال حديث .

ويركز برنامج الايونوسفير فى السنة الجيوفيزيائية الجهد للحصول على سجلات منتظمة خاصة بالايونوسفير من أكبر عدد ممكن من المحطات المعتمدة . سيكون هناك ثلاث سلاسل باتجاه الشمال والجنوب على امتداد خطوط الطول ١٠° شرقا (أوروبا الغربية - أفريقيا الغربية) ، ١٤٠° شرقا (اليابان - استراليا) ، ٧٥° غربا (جرينلاند - أمريكا الجنوبية) : وسيبذل مجهود خاص لانشاء محطات قرب خط الاستواء المغنيسى لدراسة طبقة H عند هذه المناطق . وستنشأ سلسلة من المحطات فى الاتجاه الشرقى - الغربى للكرة الأرضية حول خط الاستواء ، ومجموعة من المحطات فى منطقة الوهج الشمالى ، ومجموعة أخرى من المحطات فى قارة المتجمد الجنوبي . وسوف تنشأ محطة فى القطب الجنوبي . فأى تغيرات هناك فى الايونوسفير مرتبطة بدوران الأرض يمكن أن تنسب الى عدم تماثل المجال المغنيسى للأرض ، أو الى عدم التماثل فى دورة الهواء فى الغلاف الجوى ، حيث ان زاوية ميل

أشعة الشمس لا تتغير في أثناء النهار . وسيكون من المفيد حقا أن نعرف الى أى مدى يتم الاحتفاظ بالايونوسفير عند القطب خلال مدة تقارب ستة أشهر حيث لا فصل أشعة مباشرة من الشمس الى طبقة الايونوسفير .

وقياس امتصاص الايونوسفير للأمواج اللاسلكية يفيد من المشروعات ذات الأفضلية الأولى للسنة الجيوفيزيائية . فمحاولات قياسها كانت أقل نجاحا من محاولات قياس توزيع كثافة الالكترونات. وتوجد طريقتان رئيسيتان لقياس هذا الامتصاص ، تتوقف احدهما على مقارنة شدة الموجة التي انعكست مرتين (رحلتان دهابا وايابا بين الأرض والايونوسفير) بصدى موجة انعكست مرة واحدة فقط . فالفرق في الشدة بين صدى الموجة التي انعكست مرة واحدة وتلك التي انعكست مرتين يعتبر مقياسا للامتصاص الذي عاتته الموجة التي قامت بالرحلتين في أثناء رحلتها الثانية (مع عمل حساب الطاقة المفقودة في انعكاسها على الأرض ، وحساب الزيادة في المسافة التي تقطعها) . والطريقة الأخرى لدراسة خصائص الامتصاص في الايونوسفير تتوقف على قياس التغير في شدة الأمواج اللاسلكية القادمة من الفضاء الخارجي .

ومن البرامج التي أحسن تخطيطها وتنفيذها تأمل أن تتمكن من تنمية معلوماتنا عن هذا العالم الذي نعيش فيه ، وذلك فضلا عن الفوائد الاقتصادية المترتبة على زيادة كفاءة استغلالنا لهذه الطبقة من الهواء المكهرب فوق رؤوسنا .

الوهج القطبي والوميض الجوى

بقلم

ص. ت. الفى

وفراتطينى . روسى

عبر السماء الشمالية المظلمة يبدأ الأفق يومض بضوء خافت مائل الى الاخضرار . ثم لا يلبث هذا الشريط من الضوء أن تمتد اضاءته يرتفع فى السماء على شكل قوس يمتد من الشرق الى الغرب . وبينما يتحرك هذا الضوء نحو الجنوب يظهر المريد من هذه الأشرطة ، وبهذه الكيفية تزداد اضاءة السماء تدريجيا وتبدد ظلام الليل ، وبعد ذلك تنفك هذه الأشرطة فجأة وتمتلئ السماء كلها بالأشعة المتحركة بسرعة ، وبالسطوح الضوئية التى تنطوى حيناً وتتفرد حيناً آخر ، فى لون أخضر يشوبه أحيانا اللوان الأحمر الفاتح والأرجوانى . واذ يرقب المرء هذا المشهد من الأرض يشعر بأنه غارق فى خضم من الأضواء الخلابة المختلفة .

ومن بين الظواهر الطبيعية جميعها ، تبدو ظاهرة الوهج أبعد ما عن الواقع والوصف . فما كنتها ؟ وما سببها ؟ وهل يمكن أن

يسبغ عليها شكل أو مظهر فيزيائي؟ وهل يمكن تحليلها وقياسها وتحديد مكانها أو تحديد أبعادها؟ الجواب عن ذلك بالطبع هو نعم، وكل هذا ممكن. وإن بعض الأسئلة التي كانت تراود الجنس البشرى حول الأضواء القريبة في الشمال والجنوب يمكننا الآن الإجابة عنها، وإن كان لا يزال أمامنا الكثير لتعلمه عن هذه الظاهرة.

ويعتقد معظم الفلكيين والفيزيائيين أن سبب الوهج القطبي هو جيوش من الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس إلى الأرض، يأسرها المجال المغنطيسي للأرض ويحملها نحو القطبين المغنطيسيين. وهذا يفسر سبب تعدد حدوث الوهج عند القطبين الشمالي والجنوبي. وعندما تفتقر البروتونات الغلاف الجوى تتحد مع الالكترونات لتنتج ذرات الايدروجين. وهذا الاتحاد يتولد عنه ضوء. ولما كان هذا الاشعاع هو ضوء الايدروجين فإن ذلك يدل على أن البروتونات تتساقط على الغلاف الجوى في الطور الأول من ظاهرة الوهج. أما الاطوار المتأخرة عن هذه الظاهرة، وخاصة عندما تنفصل لتكون الأشعة، فيبدو أن مردها حزم الالكترونات المتساقطة. وعلى هذا فالمعملية التي تؤدي إلى حدوث الوهج القطبي - وهو إثارة ذرات وجزيئات الغلاف الجوى لدى اصطدامها بالجسيمات المنهرة - تشبه إلى حد كبير ما يحدث داخل مصابيح النيون.

ونميل أشعة الوهج إلى أسفل نحو الأرض على امتداد خطوط القوى المغنطيسية التي توجه الجسيمات المشحونة. وهي لا تصل إلى الأرض بالطبع. وتدل الصور الفوتوغرافية التي أخذت للوهج القطبي من محطات مختلفة على أنه ينتهي عند ارتفاع ٦٠ ميلا من

سطح الأرض . ويمكن مشاهدة قاعدة الوهج على بعد ٦٠٠ ميل من النقطة التي تحتها مباشرة على سطح الأرض . ويختفى الوهج فيما وراء ذلك لانحناء سطح الأرض .

وتتبع لأرصاء استغرقت حوالى قرن من الزمان ، توجد الآن خرائط وافية تحدد مساحات الأرض التي يمكن مشاهدة الوهج فيها ، والتي يكثر حدوثه عندها . وهذه الخرائط مبنية على خطوط العرض الهندسية . فالقطبان المغنطيسيان لا يقعان عند القطبين الجغرافيين . ويقع القطب المغنطيسى الشمالى فى شمال غرب جرينلاند . وتقع المنطقة التى يكثر فيها حدوث الوهج فى حزام يمتد الى ٢٣° من القطب المغنطيسى فى كل من نصفي الكرة الأرضية . وفى النصف الشمالى تمتد هذه المنطقة فى « ألاسكا » بين « بوينت بارو » و « فيربانكس » ، و عبر « كندا » حتى الطرف الجنوبى من « جرينلاند » ، وكذلك فوق الطرف الشمالى من الرويج والسواحل الشمالية لروسيا وسيبيريا . وفى المنطقة بين خطى عرض ٦٠° ، ٤٥° المغنطيسيين يمكن مشاهدة الوهج من حين لآخر . وحدود هذه المنطقة تشمل تقريبا « سان فرانسيسكو » ومدينة « أوكلاهوما » و « ميفيس » و « اتلاتا » و « جزر الأزور » وشمال إيطاليا والأجزاء الجنوبية من الاتحاد السوفيتى وطرف شبه جزيرة « كامشاتكا » . أما فى جنوبى خط عرض ٤٥° فلا يشاهد الوهج الا فى العواصف المغنطيسية الناشئة عن اضطرابات عنيفة جدا فى المجال المغنطيسى الأرضى .

ومن المعلوم أن احتمال ظهور الوهج يكون أكبر ما يمكن فى شهرى مارس وسبتمبر . وسواء كان ذلك يرجع الى عدم

استقرار الغلاف الجوى الأرضى أو الى أن حزامى الكلف الشمسى الشمالى والجنوبى يتجهان نحو الأرض فى هذا الوقت ، فإن هذا موضع جدل . ولكن من الحقائق المسلم بها أن تكرار حدوث الوهج يرتبط الى حد بعيد بدورة نشاط الكلف الشمسى .

وتجرى الآن أبحاث عديدة فى معهد الفيزياء الأرضية التابع لجامعة « ألاسكا » فى مدينة « كوليج » بجوار « فيربانكس » حول حدوث الوهج فى سماء ألاسكا . وفى الفترة ١٩٥٣ - ١٩٥٤ (وهى فترة كان فيها النشاط الشمسى فى نهايته الصغرى تقريبا) ظهر من حين لآخر بعض الوهج فوق مدينة « كوليج » ، رغم أن المجال المغنطيسى كان هادئا تقريبا . أما فى الأيام التى تهب فيها العواصف المغنطيسية فإن نشاط الوهج يستمر فوق المدينة لفترة تستغرق ٥٢ ٪ من الزمن الكلى للمراقبة .

ان مشاهدة الوهج فى أوج نشاطه أمر مثير حتى بالنسبة للراصد الذى ألف هذه الظواهر . فحركاته وتغير أشكاله وألوانه تتخذ أسلوبا متنوعا الى حد يعجز عنه الوصف . وقد يسهل متابعة سيرك ذى ثلاث حلقات عن متابعة الوهج الذى ينتشر فوق رؤوسنا ويملا السماء من حولنا .

وبينما لا تمثل الأشعة والشرائط الضوئية المتحركة فى هذه المرحلة الا مشهدا مثيرا بالنسبة للرجل العادى ، فإن رجل العلم يجد فى الأشكال الهادئة للوهج أهمية كبرى . فالسما تغطيها شرائط ضوئية هائلة تمثل فيضا من البروتونات أحالها المجال المغنطيسى للأرض الى حزم رفيعة الى حد كبير . فشرط الوهج لا يتجاوز شتمكه فى بعض الأحيان ٨٠٠ قدم . ومع ذلك فإن هذا

الشريط يمتد على مدى البصر من الشرق الى الغرب عبر الأفق الى ١٢٠٠ ميل أو أكثر ، ولا يعلم أحد الى أى مدى تمتد هذه الأقواس . وأحد برامج السنة الجيوفيزيائية الدولية سيخصص لمعرفة المدى الذى تمتد اليه شرائط الوهج حول الكرة الأرضية .

وفي مدينة « كوليج » ، التى تقع قرب منتصف أكثر الأحزمة نشاطا فى نصف الكرة الشمالى ، لا نرى أنواع الوهج العظيمة فحسب ، بل نشاهد أيضا معظم أنواع الوهج الأقل شأنا . وقد بذلت الجهود لرصد الوهج على مقياس كبير من محطات خمس منتشرة فى أنحاء ألاسكا . وتقع هذه المحطات عند « كوليج » ، و « نورث واى » على الطريق الرئيسى لآلاسكا قرب الحدود الكندية ، وفي « شيب ماوتن » شرقى « أنكوريج » ، وفي « نوم » بشبه جزيرة « سيوارد » . وأخيرا فى « بوينت بارو » التى تقع فى الطرف الشمالى لآلاسكا .

ولشرح تطورات ظهور الوهج كما تشاهد من ألاسكا تأخذ على سبيل المثال ما انتهى اليه رصد الوهج فى ٢٦ - ٢٧ مارس عام ١٩٥٤ . أخذت المحطات الخمس فى التسجيل طوال الليل . وفى الساعة ٨ر٤٠ مساء ظهر شريط من الضوء المتجانس عبر الجزء الشمالى الشرقى من المنطقة عند خط العرض ٧٠° تقريبا . وفى الساعة ٩ مساء كان الشريط قد تقدم تدريجيا نحو الجنوب حتى خط العرض ٦٨° . وبعد مضى نصف ساعة أخرى أصبح عدد الأقواس المضيئة أربعة بين خطى العرض ٦٧° ، ٧٠° ثم ازداد عدد هذه الأقواس وكان الشريط الضوئى الذى يتقدمها وقتئذ الى الجنوب متجانسا ، فى حين تخللت الأقواس الأخرى أشعة مستعرضة . وفى الساعة ١٠ر١٥ مساء كان عدد الأقواس المشاهدة

ثمانية ، يقع أقصاها نحو الجنوب عند خط العرض $1/4$ °٦٢ . وبعد ذلك بفترة وجيزة ظهر ما نسميه « بالاقسام الكاذب » - وهو تشتت أحد الأقواس الشمالية وانبعاث شعلات وقتية من الضوء مصحوبة بنشاط عنيف ، ولكن سرعان ما عادت هذه التشكيلات الى وضعها الأصلي . وبعد منتصف الليل بقليل تشتتت مجموعة الأقواس ، واشتد لمعان القوس الجنوبي ، وبدأ كأنه يهتز على طول امتداده ، وفي ثوان قليلة امتلأت سماء الأسكا شمال خط العرض ٦٢° بالأشعة والشرائط والسطوح الضوئية . وكانت جميعا تتحرك حركة عيفة . وبعد بضغ دقائق تشكلت الى سطوح متذبذبة ، وفي الساعة الواحدة صباحا اختلطت جميع السطوح ببعضها البعض ، وفي الساعة الثالثة صباحا تحول الوهج الى مجرد قناع متداخل ومحصور في المنطقة بين خطي عرض ٦٦° ، ٦٨° . ثم أخذ هذا القناع في الاضمحلال تدريجيا الى أن وضع النهار .

وللأجهزة العديدة التي استخدمت في دراسة الوهج القبطي فائدة كبرى . وأحد هذه الأجهزة عبارة عن آلة لتصوير السماء أعدها « س. و. جارتلين » (C. W. Gartlein) لتسجيل الوهج . استخدم « جارتلين » آلة تصوير سينمائية مقاس ١٦ مم تتجه الى أسفل نحو مرآة محدبة كي تصور ما تعكسه هذه المرآة من صورة شاملة للسماء ، وبذلك تمكن من مراقبة السماء بصفة مستمرة ، ومن هذه الأجهزة أيضا المطياف الذي يحلل ضوء الوهج ويدلنا على أنواع الذرات والجزيئات الموجودة في الجو . وكذلك درجة حرارتها ومقدار الطاقة التي تشعها ، وبعض طرق اثارها . غير أن سرعة تغير الوهج وخفوت ضوئه كان سببا في صعوبة استخدام المطياف . ولكن تطور أساليب البحث في

النرويج وكندا والولايات المتحدة الأمريكية جعل من الممكن الحصول على أشكال لطيفة جميلة للوهج ، فشمّل الجزء المرئي من الطيف وكذلك الجزء القريب من الأشعة فوق البنفسجية ودون الحمراء ، وخلال دراسة « أ . ب . ماينل (A. B. Meinel) وزملائه في مرصد «يركس» للأطياف في تجاربهم عن قذف الغازات الجوية عند ضغط منخفض ، استدلوا على أن نشاط الوهج يرجع إلى البروتونات في طور الوهج الشريطي وإلى الإلكترونات في طور تجزئة هذه الأشرطة . كما اكتشف « كينيث بولز (Kenneth Bowles) في كولييج ديليا على هذا الفارق الرئيسى للوهج وهو في شكل متجانس أو على هيئة أشعة . فبدراسة الاشارات اللاسلكية المنعكسة من الوهج اتضح وجود ازاحات في ترددها - ظاهرة « دوبلر » . فعند ما تنعكس الاشارات اللاسلكية من الأشرطة المتجانسة تكون الازاحة في الناحية الدالة على أن حركة الجسيمات نحو الأرض . أما الاشارات المنعكسة على الوهج على هيئة أشعة فقد دلت على وجود الكترونات صاعدة الى أعلى .

يعتبر اللاسلكي والرادار من الأدوات المفيدة جدا في دراسة الوهج . فجهاز الرادار لا يرى بالضبط ما تراه العين أو آلة التصوير ، ولكنه يتميز بالقدرة على اكتشاف الوهج خلال السحاب أو في ضوء النهار . كما أن الفلك اللاسلكي ذو فائدة كذلك . وكما أن اضطرابات الهواء الجوي تجعل النجوم المرئية تتلألأ ، كذلك فإن اضطرابات الوهج في الجو المشحون بالكهرباء تجعل النجوم التي تكشف عنها أجهزة الفلك اللاسلكية تتلألأ . وباجراء تجارب دقيقة يمكن تقدير حجوم وحركات الاضطرابات في منطقة الوهج . وبالإضافة الى ذلك ظهر أن منطقة الوهج

تمتص مقدارا ملموسا من ضوء الراديو القادمة من الفضاء الخارجى .

وقد ظهرت محاولات عديدة لقياس مقدار الوهج أو شدته . ويستعمل المعهد الجيوفيزيائى فى « كوليج » الآن « فوتومتر » كهرو - ضوئى لقياس اضاءة السماء أثناء انتشار الوهج . ويتم هذه القياسات فى جزء صغير من الطيف المرئى حيث أمكن التعرف على ضوء الوهج ، مثال ذلك خط الوهج الأخضر . وتدل هذه القياسات على أن الوهج يضاعف من اضاءة السماء فى الليل بمقدار عشرة أمثال فى المتوسط . وعند ما تحدث زيادة هائلة فى شدة الوهج تتضاعف اضاءة السماء مائة مرة .

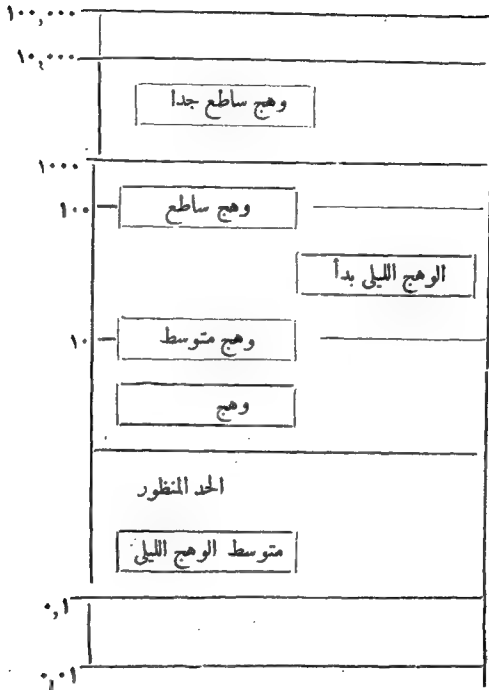
ولدراسة الوهج فى السنة الجيوفيزيائية عدة أهداف منها . عمل خرائط آتية لتوزيع انتشاره فوق الكرة الأرضية ، وخاصة لتحديد حدوث الوهج فى المناطق القطبية الشمالية والجنوبية فى آن واحد . ومن بين الأهداف أيضا دراسة علاقة الوهج بالنشاط الشمسى وبالعواصف المغنطيسية والظواهر الأرضية الأخرى . كذلك دراسة العمليات الفيزيائية التى تتبع الوهج وقياس حجم الوهج نفسه . وسيدرس بامعان مدى تكرار الوهج بعمل احصاء فوق مساحات صغيرة مختارة على سطح الأرض ، ولتكن درجة مربعة مثلا (أى ما يناهز مساحة مربع ضلعه ٦٩ ميلا) .

تباشر هذه الدراسات سلاسل من المحطات المزودة بمعدات التصوير التى سبق ذكرها ومحطات الرادار ، ومراكز لقياس الطيف (ومن بينها معمل مجهز فى طائرة ومزود بمنظار لرصد سماء المنطقة) ، وكذلك تلسكوبات لاسلكية ومراصد ومجموعات

أخرى متنوعة . وسوف يستعين الباحثون أيضاً بتقارير من المراقبين الهواة للوهج ، وخاصة في المناطق التي تندر رؤية الوهج فيها . وعند احتمال ظهوره في المناطق المشار إليها ستوجه نداءات عامة . ويقع المركزان الأمريكيان لتجميع وربط كل الأرصاد في « إيتاكا » بنيويورك وفي « كوليج » .

ويرتبط بدراسات الوهج ارتباطاً وثيقاً مشروع لدراسة ظاهرة سماوية هامة أخرى تسمى الوميض الجوى . فالسماء مليئة بوميض خافت ليلاً ونهاراً ، هذا الوميض لا تراه العين ، غير أننا ندرك وجوده بالآلات الحساسة . وعدم رؤيته يرجع أولاً الى أنه خافت الى حد كبير ، وثانياً لأن أكثر اشعاعاته شدة يقع خارج الطيف المنظور . ولو كانت أعيننا حساسة للأشعة دون الحمراء لرأت الوميض في سماء الليل أشبه ما يكون بضوء الشفق .

وكما هي الحال بالنسبة للوهج فإن سبب تكون الوميض هو إثارة الذرات والجزيئات في الغلاف الجوى . وينشأ الوميض في الظاهر عند نفس الارتفاع الذى يتولد عنده الوهج . ويبدو أن وميض النهار ووميض الليل يتولدان نتيجة عمليات مختلفة . ويصعب على وجه الخصوص تفسير وميض الليل . ويكاد يكون من المؤكد أن المصدر الرئيسى لطاقة وميض الليل هو الشمس . ولكن من الصعب أن تصور نوع العملية التي تحول جانباً من طاقة الشمس التي تغمر الأرض باستمرار الى وميض الليل . ولو عرفنا كنه هذه العملية لزدنا ذلك بمعلومات ذات أهمية كبرى عن الطبقات العليا للغلاف الجوى .



يبين الجدول اللامعان النسبي لكل من الظواهر الجوية المختلفة .
 واشتدادات الوهج الليلي بالجزء المتطور من الطيف تكون عادة خافتة جدا
 فلا يمكن رؤيتها .

اكتشف الوميض الجوى لأول مرة منذ عشرات السنين . فقد وجد الفلكيون دواما أن في طيف السماء اشعاعا أخضر ، لا يمكن أن يكون مصدره النجوم أو الكواكب . ونظرا الى أن هذا الاشعاع الأخضر صادر بالتأكيد من الغلاف الجوى ، ولأنه هو نفس الخط الأخضر الذى يشاهد فى الوهج فقد أطلق على هذا الوميض اسم «الوهج الدائم» ثم أعيد تسميته فيما بعد باسم الوميض الجوى .

وقد تم التحقق من وجود أربعة أطوال موجية محددة فى الوميض الجوى : أحدها هو الخط الأخضر الذى طول موجته 5577 أنجستروم ، وينبعث من ذرات الأكسجين المثارة وثانيها هو الخط الأزرق الذى طول موجته 6300 أنجستروم وينبعث أيضا من ذرات الأكسجين فى درجة أخرى من الاثارة . أما ثالثها فهو الأصفر الذى طول موجته 5893 أنجستروم ويولده الصوديوم ، والرابع اشعاع قوى فى المنطقة دون الحمراء عند الطول 10000 أنجستروم ، وينبعث من ذرات الهيدروكسيل (يدا) . ولو كان هذا الاشعاع الأخير مرئيا لكان فى شدة اضاءة الوهج . والاشعاعات التى فى الجو المرئى من الطيف تقل شدتها كثيرا عن الحد الأدنى الذى تحس به العين ، ولبو أنه فى بعض الأحيان يشتد الوميض الى درجة تستطيع معها العين المعتادة على الرؤية فى الظلام أن تحدد بصعوبة بعض التفاصيل فى ضوء الوميض الليلي .

وقد ظفر الوميض الجوى بجانب كبير من الدراسة المركزة خلال السنوات العشر المنصرمة . وفى مقدورنا الآن أن نناقش خصائصه بشئ من التفصيل . الا أنه لا يتيسر بطبيعة الحال ادراك وجوده . وقد سجلت خطوطه الطيفية باستعمال أجهزة متازة

لتحليل الطيف ، عرضت للوميض لمدة طويلة (في كثير من الأحيان عدة ليال) . وباستعمال فوتومترات كهروضوئية ومكثفات تمرر الألوان النقية جدا وتستبعد الاشعاعات المحيطة القلادة من الفراغ الخارجي ، أمكن دراسة تغيير شدة الوميض الجوى بتغير الزمن وكذلك بتغير مكانه في السماء .

وقد بينت هذه الدراسات أن الوميض الجوى أضعف ما يكون عند السمت ، أى أعلى الرأس ، وتزداد شدته كلما انحدرنا في السماء نحو الأفق الى أن تصل شدة الوميض الى ذروتها عند ارتفاع ١٠ درجات فوق الأفق . وهذا أمر متوقع اذا لاحظنا أن الكاميرا تنظر خلال طبقات متزايدة السمك من الغلاف الجوى كلما انحدرنا من السمت الى الأفق . وازدياد شدة الوميض تبعا لذلك يدل على أن الوميض ينشأ في الغلاف الجوى . ويمكن تقدير ارتفاع الوميض عن سطح الأرض من ملاحظة ازدياد شدته نحو الأفق . والدلائل المتوافرة بين أيدينا تدل على أن هذا الارتفاع يتراوح بين ٦٠ ميلا ، ١٢٠ ميلا .

هذا ويميل اللون الأخضر في الوميض الى أن تزداد شدته في ساعات المساء وتقل شدته بعد منتصف الليل . بينما تقل شدة اللون الأحمر الذي يصدر بدوره عن ذرات الأكسجين في ساعات المساء وتزداد شدته قليلا قبيل الفجر . وهذه الحقيقة تبدو غريبة بالنسبة لما نعرفه عن ذرة الأكسجين . فعند ما ينبعث من ذرة الأكسجين الاشعاع الأخضر (٥٥٧٧) تظل الذرة في حالة إثارة يبعث بعدها الاشعاع الأحمر (٦٣٠٠) . وتستمر في حالتها هذه مدة ١١٠ ثوان تهبط بعدها الى المستوى الأدنى التالي من الطاقة

وعندئذ تشع الأحمر (٦٣٠٠) . وواضح أنه لا بد من مؤثر
فيزيائي في أعالي الجو يتدخل في الفترة ١١٠ ثوان فيقلل من طاقة
ذرات الأكسجين قبل أن تشع الأحمر (٦٣٠٠) ، وربما قلت طاقة
الذرات بسبب تصادمها مع ذرات أخرى . ويشبه هذا الوضع كرة
البيسبول عند ما يقذف بها الى سطح مدرج النظارة . تنحدر
الكرة من فوق السطح وتهبط الى النظارة ومن ثم تنحدر بين
المتاع في الملعب ، ولكن كل من يلعب بلعبة البيسبول يعلم أن فرصة
عودة الكرة الى الملعب منعمة عمليا ، إذ أنها تصطدم بعقبات مادية
عديدة أو أجسام بشرية ثم تستقر عادة في جيب طفل .

وتطلق ذرات الصوديوم الطاقة التي تشع اللون الأصفر المميز
للسوديوم . وتطلق تلك الطاقة بسهولة الى درجة أن هذا
الاشعاع يمكن الاستدلال عليه مهما كانت كمية الصوديوم
الموجودة ضئيلة . وتبعا لهذا فانه بالرغم من أن الغلاف الجوى
العلوى لا يحتوى الا على ذرة واحدة من الصوديوم بين كل مليون
مليون ذرة من ذراته فان الاشعاع الأصفر المميز للصوديوم
والموجود في الوميض يكون عادة بنفس شدة اللون الأخضر
والأحمر اللذين يطلقهما الأكسجين . ولعل أغرب مظهر من مظاهر
اشعاع الصوديوم في الوميض الجوى هو تفاوته من فصل لآخر .
ففى أواخر الخريف يكون اشعاع الصوديوم في خطوط العرض
الشمالية أشد لمعانا من اشعاع الأكسجين ، ولكنه في منتصف
الصيف يكون من الضعف بحيث لا يمكن ادراك وجوده في كثير
من الأحيان . وقد اقترح بعضهم وجود سحابة كبيرة من الصوديوم
في أعالي الجو تقضى الشتاء في خطوط المتوسطة والنصف في
المناطق الاستوائية .

وقد اكتشف اشعاع (يدا) في الوميض الجوي (وجد أولا في المنطقة دون الحمراء وأخيرا وجد بصورة أقل وضوحا في الجزء المرئي من الطيف) ، وكان اكتشافه دافعا الى دراسة مصدر اشعاع الوميض . والمعتقد أن اشعاع (يدا) ينشأ من تصادم ذرات الايدروجين بجزيئات الأوزون التي تنتج (الم) وحالة مشابهة من (يدا) وأحد الافتراضات الوجيهة كذلك وجود عدد من التفاعلات الضوئية الكيميائية التي يمكن أن تنشأ عنها ظاهرة الوميض الجوي . وهناك فرض فحواه أن الوميض الليلي هو تفرغ كهربائي يجرى على نطاق واسع في أعالي الجو ويشبه التفرغ الذي نشاهده عادة وعلى نطلق صغير قرب سطح الأرض في أثناء العواصف الكهربائية.

والوميض الليلي هو جانب من الوميض الجوي ، اذ يوجد أيضا وميض الشفق وهو أشد من وميض الليل مائة مرة تقريبا ، ولكن تتعذر على العين رؤيته لأن السماء تكون أشد اضاءة . واذا كان الوميض الليلي لم يستدل عليه بعد فان وميض الشفق ليس كذلك . فهو أشد ما يمكن عند ما تكون الشمس منخفضة عن الأفق بمقدار ٨ أو ١٠ درجات ، وعندئذ نجد أن أكثر أشعة الشمس انخفاضا تعبر الغلاف الجوي عند ارتفاع ٦٠ ملافق الراصد وعندئذ يلعب الخط الأحمر (٦٣٠٠) الصادر من الأكسجين وكذلك الأصفر الصادر من الصوديوم ، أما الأخضر (٥٥٧٧) الصادر من الأكسجين فتضعف شدته . ولا يمكن الشك في أن وميض الشفق انما ينشأ عن أشعة الشمس التي ترفع ذرات أعالي الجو الى مستويات الطاقة التي تكفي لاتاج الاشعاع المشاهد .

وحيث ان الشمس تنتج مباشرة وميض الشفق فلا شك أنها

تنتج أيضا الوميض النهارى . وطبيعى أنه لا يمكن الاستدلال على وجود الوميض النهارى بسبب شدة اضاءة السماء ، ولكن من الممكن تسجيله بوساطة أجهزة علمية يحملها صاروخ الى أعالي انجو حيث تكون السماء سوداء لوجود عدد قليل نسبيا من الجسيمات التى تستطيع تشتيت ضوء الشمس . وقد أطلق عدد قليل من الصواريخ ولكن لم يتحقق بعد تماما وجود اشعاعات الوميض الجوى .

وقد رسمت خطة لعمل أرصاد واسعة النطاق فى أثناء السنة الجيوفيزيائية الدولية للوميض الجوى ، وقد تم تنسيق برامج هذه الأرصاد مع دراسات الوهج القطبى ، وقد أعدت لذلك سلاسل من محطات المراقبة .



ظاهرة الصقيع

بقلم

ل. ر. أ. سوري

أين ينتهي الغلاف الجوي وأين يبدأ الفراغ ؟ ومم يتركب الهواء العلوى ؟ وما هى درجة حرارته ، وما هى كثافته ، وما هى صفاته الفيزيائية ؟

لقد تم الكشف عن طبقات الغلاف الجوي تماما حتى ارتفاع ٢٠٠ ميل بواسطة موجات اللاسلكى كما أوضح « جوتبيه » فى فصل سابق . و لكن ما وراء ذلك من الغلاف الجوى لا يزال مجهولا الى حد كبير . فالطبقة الجوية المتأينة (الايونوسفير) يقل سمكها الى درجة تصبح عندها غير قادرة على عكس أمواج الراديو الينا . ولا يوجد لدينا جهاز يستطيع التعرف على كنه المناطق الخارجية . ولكن اتضح حديثا أن الطبيعة نفسها دائبة على سبر غور الغلاف الجوى الخارجى بشكل نستطيع معه أن نتبعه ، ومن هنا تبدأ قصة هذا الفصل من الكتاب .

تبدأ قصة ظاهرة الصفيير برصد عرضي في ميدان القتال في أثناء الحرب العالمية الأولى حينما حاول العالم الفيزيائي «هينريش باركهاوزن» (Heinrich Barkhausen) (مكتشف تأثير باركهاوزن المغنطيسي) خلف الخطوط الألمانية أن يسترق السمع للمحادثات التليفونية بين الحلفاء في الميدان بجهاز فذ بسيط : ثبت « باركهاوزن » قضيين معدنيين في الأرض وتفصل بينهما وضع مئات من الياردات واذا بتيارات كهربائية ضعيفة متسربة الى الأرض من الأسلاك التليفونية للحلفاء تسرى بين هذين القضيين، فقام بنقل هذه التيارات الى مكبر حساس ، وبذلك تمكن « باركهاوزن » من الاستماع الى المحادثات التليفونية بواسطة سماعات الرأس . وفي أثناء استراقه السمع صادفه من آن لآخر صفيير غريب كان يطفئ تماما على المحادثات التليفونية العسكرية . وقد اهتم بهذه الظاهرة الى درجة أنه ذكرها في احدي نشراته : « سمعت درجة ملحوظة من الصفيير في التليفون ، وقد عزى هذا الصفيير الى صوت قذف القنابل في الجبهة » .

كان أول رد فعل عند « باركهاوزن » هو أن هذا الصفيير قد صدر عن جهازه . ولكن عند ما فشلت كل المحاولات لاقتصائه ثبت في روعه أن مصدر هذا الصفيير هو الغلاف الجوي ، وكان محققا في ذلك . ثم انقضت بعد ذلك سنوات عديدة قبل أن تحظى هذه الظاهرة بالمزيد من الاهتمام ، أو أن يدرك أحد مدلولها .

ان اشارات الراديو الجوية التي تأتي في أثناء العواصف القوية على شكل ضوضاء هي أمر مألوف ، ولكن الصفيير الذي سمعه « باركهاوزن » لم يكن في فطاق الأمواج التي تستعمل في الارسال

العادى . فقد كانت عبارة عن اشارات ذات تردد منخفض طويلة الموجة دون أدنى تردد اذاعى . ويعلم مهندسو اللاسلكى الآن أن دون هذا الطرف من طيف الاذاعة اللاسلكى تسمع أنواع من الضوضاء الغريبة المتنوعة ، وكلمة يسمع هنا تؤدى المعنى ، لأن تردد هذه الأمواج هى من الانخفاض بحيث أنها تقع في متناول السمع المباشر أى في مدى السمع البشرى . ولذلك نحتاج فقط الى أبسط الأجهزة لتتبعها : هوائى لالتقاط الذبذبات الكهربائية الجوية ، ومكبر صوتى كالذى يستعمل في الجراموفون لتحويل الذبذبات رأسا الى صوت .

وماذا نسمع عند ما يعمل هذا المكبر ؟ نسمع في الغالب قهيرا كالذى يظهر في موجات الاذاعة . ولكن من حين لآخر يتاح لنا أن نسمع ضوضاء موسيقية نسبيا تتفنن في تسميتها بأسماء ترتبط بما تحاكيه هذه الأصوات . فيوجد صوت يشبه «صلصلة النقود» وهو نعمات قصيرة معدنية تحدث من ارتداد الأمواج بين الأرض والايونوسفير . كما يوجد « كورس الفجر » ، وهى ضوضاء لا يمكن تفسيرها وتحدث في أثناء العواصف المغنطيسية ويوجد كذلك « صغير باركهاوزن » .

تهبط درجة نغمة الصغير مبتدئة من النهاية العظمى لمدى السمع ، ويكون هبوطها سريعا في أول الأمر ، ثم تهبط ببطء عند الذبذبات المنخفضة . ويتضاعف طول موجة النغمة عدة مرات في مدى ثانية أو اثنتين (كلما قلت الذبذبة زاد طول الموجة) .

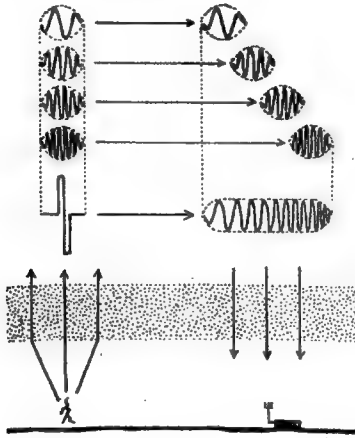
وقد درس كل « أ.ت. بيرتون » (E. T. Burton) ، « أ.م. بوردمان » (E. N. Boardman) في معامل شركة « بل » للتليفون،

وكذلك « ت . ل . اكرسلى » (T. L. Eckersley) فى شركة ماركونى للتغراف اللاسلكى فى انجلترا ، ظاهرة الصغير الى حد ما فى السنوات ما بين ١٩٢٠ ، ١٩٣٠ . وقد لاحظ هؤلاء الباحثون أن الصغير يتبع غالبا (وليس دائما) « هيرا » جويا حادا بمدة ثانية أو ما يهرب منها . وكان مصدر النقيير نفسه وقتذاك أمرا يكتنفه الشك ، ولكنه كان على أى حال طريقا حافزا الى الدراسة . وكان يبدو أن الصغير ان هو الا صدق للنقيير منعكس من الايونوسفير . ومن ثم السؤال : كيف يمكن أن يتحول النقيير الى صغير ؟ .

وقد توصل « باركهاوزن » و « اكرسلى » ، كل على افراد ، الى تفسير أثبت التجارب صحته فيما بعد . فقد كان من الواضح أن النقيير يتركب من عدد من الترددات المختلفة ، حيث ان النقيير الواحد يمكن سماعه على أى موجة من موجات الارسال ، وبالتأكيد فى نطاق الأمواج الصوتية كذلك . وكان من المعلوم أيضا أن أمواج الراديو ذات الترددات المختلفة تسير بسرعات مختلفة فى الايونوسفير . ولنفرض أنه فى أثناء اختراق النقيير لطبقة الايونوسفير ، تحللت مركباته ذات الترددات المختلفة ، فالترددات العالية تسير أسرع بينما تتأخر الترددات المنخفضة . فعندما يسير النقيير مسافة كبيرة تتباعد مركباته وتصل الى المستمع تباعا بحسب تردداتها وسرعاتها الأمر الذى يشكل صغيرا تهبط درجته بانتظام (انظر شكل ١٦) .

وقد قام ايكرسلى بصياغة هذا العرض فى صورة معادلات وأرقام . وأدخل فى حسابه أن نوعا معينا من اشارات الراديو يمر

في الأيونوسفير دون أن ينعكس وأن سرعة هذه الاشارات لا بد أن تهبط إلى أقل من سرعتها الأصلية ، كما أن سرعتها لا بد أن تتوقف على عدة عوامل : ترددها ، واتجاه سيرها بالنسبة للمجال المغنطيسى للأرض ، وشدة هذه المجال ، وكثافة الالكترونات في المناطق التي تعبرها .



الشكل (١٦)

يسمع التفريغ الكهربى الجوى (بأسفل اليسار) في محطة الاستقبال (بأسفل اليمين) على شكل نقر (موجة مستطيلة كائنية بواسطة الرسم من جهة اليسار) مكونة من أطوال موجات مختلفة وعديدة . تنتقل الموجات القصيرة في الأيونوسفير (الجزء المظلل) بسرعة أكبر من سرعة انتقال الموجات الطويلة (بأعلى اليمين) ، وينشأ عن تلك صغير (وسط الجزء الايمن) يسمع أخيراً في نفس محطة الاستقبال .

وإذا أخذنا في الاعتبار عامل التردد فقط فإن سرعات الموجات من هذا النوع خلال الأيونوسفير يجب أن تتغير بنسبة الجذر التربيعي للتردد . فمثلا : موجة ترددها أربعة أمثال تردد موجة أخرى يجب أن تسير بسرعة ضعف سرعة الأخيرة ، مع بقاء العوامل الأخرى ثابتة . وعلى ذلك ، ففي حالة النقيير الذي يعبر مسارا معيناً في الأيونوسفير فإن سرعات مركبات تردده يجب أن تتوفر بينها علاقة الجذر التربيعي البسيطة . وهذا يعني أن الزمن اللازم كي تقطع هذه الترددات المختلفة هذا المسار يجب أن يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لهذه الترددات .

وللتأكد من صحة هذه التنبؤات يلزمنا فقط أن نستخدم جهاز تحليل الترددات لنفرد بين تردد المركبات المختلفة للنقيير ، وأن نتأكد من أن زمن وصول عدد من هذه الترددات عقب النقيير يخضع للنسبة المقترضة . وقد وجد « ايكيرسلي » فعلاً أنها تخضع تماماً لها .

والسؤال الهام التالي هو : ما طول المسار الذي يقطعه الصفيير؟ والجواب بالطبع يتوقف على مقدار تشتت الترددات : (أى المدى الذي تستغرقه نفمة الصفيير) . ولكن من المستحيل أن نحصل على تقدير دقيق للمسافة المقطوعة من هذه الناحية ، لأن التشتت يعتمد أيضاً على متوسط كثافة الالكترونات ، وعلى شدة المجال المغنطيسي في المسار ، وهذه كينيات غير معلومة وعلى العموم نستطيع أن نحسب بصورة مبدئية أقل مسافة يقطعها الصفيير : فباستبعاد أثر المجال المغنطيسي ، وبفرض أقصى كثافة ممكنة للالكترونات في مسار الصفيير (أعلى كثافة لطبقات الأيونوسفير) يمكننا أن نحسب طول مسار الصفيير الذي يبين مقدارا نموذجيا

من التشتت . والجواب المذهل هو ١٥٠٠٠ ميل . والظاهر أن
الصفير يمتد الى ما وراء ما كان يعتقد أنه حدود الغلاف الجوى
للأرض .

وعندما بدأت فى دراسة الصفير بمعمل « كافلدش » بجامعة
كمبردج عام ١٩٥٠ كان يبدو أن هناك مسألتين هامتين : أولا ،
ما هو مصدر النقيير ؟ وثانيا ، أين يمتد المسار وكيف تنعكس
الموجات عند طرف هذا المسار ؟

كان واضحا فى ذلك الوقت أن هناك احتمالا كبيرا أن يكون
مصدر النقيير هو البرق . ولدراسته استعنا بجهود مكتب أرصاد
وزارة الطيران البريطانية . ولهذا المكتب منظمة تستطيع تحديد
مكان العواصف البرقية بدراسة الاحوال الجوية . وله أربع
محطات متفرقة فى أنحاء المملكة المتحدة لتحديد مصدر النقيير
الجوى . وقد أعددتنا ترتيبا بحيث تتلقى اشارة تليفونية فى اللحظة
التي يحدد فيها موضع النقيير . وسجلنا هذه الاشارات ولاحظنا
ما اذا كان يتلوها صفير . ورسمنا خريطة تحدد مواضع النقيير ،
وفيما بعد تمكنا من ربط العلاقة بين شدة ارتفاع صوت كل صفير
وبين المسافة بين مصدر النقيير وجهاز الاستقبال .

وقد أوضحنا هذه الأرصاد وتحليل أشكال الموجات ، بما
لا يقبل الشك ، أن مصدر النقيير هو لفحات البرق . وقد التقطنا
صفيرا حادا صادرا من عاصفة برقية تبعد عنا بمسافة ٦٠٠ ميل .
ومن مراكز أرصاد امتدت بعيدا لاحظنا أن شدة الصفير أخذت
تضعف بانتظام الى أن انعدم استقبالنا له على بعد يزيد على ١٢٠٠

ميل . وبمعنى آخر لم تتمكن من التقاط صدى للقيصر الذي قد
ينشأ على بعد يزيد على ١٢٠٠ ميل .

كان هذا أمرا غريبا . فقد كان المرء يتوقع أن تنتشر هذه
الموجات الى مسافات أكبر . ومع ذلك فما هنا أمواج سارت
مسافة لا تقل عن ١٥٠٠٠ ميل . وبعد أن تقطع هذه المسافة الكبيرة
تعود على شكل صدى يمكن استقباله في مساحة لا يزيد نصف
قطرها على ١٢٠٠ ميل . ما هي العملية التي تحدث في الغلاف
الجوى فتجمع هذه الأمواج على تلك الكيفية ؟

لنحاول أن نتبع رحلة الموجة . عندما يحدث البرق تتولد
أمواج لاسلكية تنتشر في كل جهة ، وينذهب بعضها الى أعلى نحو
الايونوسفير . وعندما تعبر هذه الأمواج اللاسلكية الحاجز بين
الهواء العادى والمنطقة المتأينة تنحني كما ينكسر شعاع الضوء
عندما يعبر الحاجز بين الهواء ووسط آخر . ومهما كانت زاوية
سقوط الأمواج على الايونوسفير فان كل هذه الأمواج تنحني
نحو العمود الرأسى . وكما لاحظنا فان للايونوسفير قدرة ملحوظة
على كسر الأمواج (تشيبتها) الى درجة أن كل الاشعة القادمة
من كل الزوايا تتركز في حزمة ضيقة رأسية .

وفي أثناء الصعود في الايونوسفير لا تستمر هذه الحزمة من
الطاقة في الاتجاه الرأسى ، وانما تتبع خطوط المجال المغنطيسى
للارض لأنه المسار الذى تسير فيه الأمواج بسرعة أكبر . ويمتد
القيصر في مساره ويتحول الى صفير .

وإذا كان صحيحا أن الصفير يتبع خطا من خطوط القوى

المغناطيسية للأرض فالتا نعلم بعض الشئ عن نهاية مساره فمن سطح الأرض في انجلترا يمتد خط القوة المغناطيسية نحو الجنوب حول الكرة الأرضية ، فيعبر خط الاستواء المغناطيسي على ارتفاع ٧٠٠٠ ميل ، ثم يهبط الى الأرض ثانية في نصف الكرة الجنوبي ، فالصغير الذي يتبع هذا المسار قد يتعكس على الأرض ويعود في نفس المسار الى المنطقة التي صدر منها في انجلترا

نعود بهذه الفكرة الى سجلاتنا ومراكز أرصادنا . وفي ضوء ما لدينا من البيانات يمكننا أن نحصل على ما يؤيد هذا التعليل .. فنجد أولا أن من الحقائق المحيرة أن الصغير في بعض الأحيان يسمع دون أن يسبقه قير . ونستطيع الآن أن ندرك أن هذا الصغير يأتينا مباشرة من نصف الكرة الجنوبي ، ليس نتيجة لصدى ، وإنما رحلة مفردة لاشارة عن برق حدث في النصف الجنوبي ، أما النقيير نفسه فانه لا يسمع لانه يمتص في أثناء رحيله في المناطق السفلى من الغلاف الجوى قبل أن يصل إلينا وإذا كان الصغير قد قطع رحلة مفردة في الايونوسفير فان امتداده يكون مساويا لنصف امتداد الصغير الذي يسبقه قير (الذي يقطع الرحلة ذهابا وإيابا) ، وقد أكدت القياسات هذا التنبؤ .

ثانيا : لوحظ منذ البداية قريبا أن النقيير المفرد في بعض الأحيان لا يتولد عنه صغير واحد فحسب ، بل سلسلة من الصغير يضعف كل منها ويطول امتداده بالنسبة لسابقه ، وتتابع بينها فترات زمنية متساوية وقصيرة ، ومن الواضح أنها رجع لنفس الصدى ، يرتد ذهابا وإيابا بين نصفي الكرة الأرضية ، مثل كرة التنس . تلك حقيقة يؤيدها ما نلاحظه من أن مدى الصغير الذي

ينوالى يتناسب مع عدد الرحلات التى قطعها كل منها . فعندما يعقب الصفير قير كانت نسبة التشتت فيما بينها ٢ : ٤ : ٦ : ٨ . وعندما لا تسمع قيرا (دلالة على أن مصدر الاشارة هو النصف الآخر من الكرة الأرضية) كانت النسب ١ : ٣ : ٥ : ٧ .

وفى تجربة مباشرة أجريت فى الصيف الماضى ، استقبل الصفير فى أثناء ارتداده ذهابا وإيابا بوساطة راصدين وحدا زمن تسجيلهما ، ويقع كل منهما عند أحد طرفى خط قوة مغنطيسى (احدهما فى جزر « اليوشن » ، والثانى فى « نيوزيلاند ») ، وفى كل رحلة متتالية وجد أن الصفير قد امتد بالمقدار الذى كان منوقعا .

أما المفاجأة الكبرى فهو ما يحدثنا به الصفير عن ارتفاع الغلاف الجوى الذى لا بد أن يصل الى ٧٠٠٠ ميل على الأقل ، أى أكبر بعدة مرات مما كان فى اعتقادنا . فقد كان المفروض أن الغلاف الجوى الذى لا بد أن يصل الى ٧٠٠٠ ميل على الأقل ، من تشتت الصفير أنه عند ارتفاع ٧٠٠٠ ميل تصل الكثافة الى ٤٠٠ الكترون فى كل سنتيمتر مكعب .

وهذا قد يعنى عدة أمور . اذا افترضنا أن هذه الالكترونات تأتى من تأين الغازات المعروفة فى غلافنا الجوى (أكسجين وأزوت) فانه لكى يتم هذا التأين يجب أن تكون درجة حرارة الغلاف الجوى الخارجى ٧٠٠٠° وهو رقم كبير لدرجة لا يمكن تصديقها . وقد افترض « ج . و . دنجى » (J. W. Dungey) بجامعة بنسلفانيا بدلا من ذلك أن هذه الالكترونات ربما أتت من أماكن خارج الغلاف الجوى ، وأن الأرض فى أثناء سيرها فى الفراغ تلتقط ذرات أيديروجين متأينة بها بوساطة المجال المغنطيسى . وتدل بعض

التقديرات الحديثة على أن الفضاء المحيط بمدار الأرض يحتوى على ٦٠٠ ذرة أيديروجين في كل سنتيمتر مكعب وبهذا تبدو نظرية « دنجى » معقولة ، إلا أن الامر لم يحسم بعد .

والشئ الوحيد المؤكد هو أن الصغير لا يزال يدخر لنا الكثير من المعلومات . وفي السنة الجيوفيزيائية القادمة سوف يستمع المراقبون في جميع أنحاء العالم الى هذه الرسائل الغريبة القادمة من الفضاء الخارجى .

حافة الفضاء

الأقمار الصناعية (١)

منذ بدء الخليقة والانسان يتطلع الى السماء فيبهره تلالق النجوم والكواكب فيها ويسحره جمالها ، فاتخذ منها آلهة واسترشد بها في رحلاته البحرية والبرية واستمد منها العون في تنظيم مواسم زراعته واحتفالاته . وتقدمت المعرفة وتغيرت نظرتة الى تلك الأجرام السماوية فشغف بدراسة تحركاتها وعلاقاتها بعضها ببعض ، وتعلم منها الكثير . وكانت المعلومات التي حصل عليها الانسان من تأمله في السماء وما تحويه من أجرام هي الأسس التي بنيت عليها العلوم الحديثة ، فمنها وضعت أسس الفلك والميكانيكا وقياس الزمن .

وكان طبيعي ، والأمر كذلك ، أن يراود الانسان حلم الانطلاق انى تلك العوالم والتحرر من القيود التي تربطه بالأرض التي قدر له أن يكون أسيرها ، حفزه الى ذلك حبه للاستطلاع ، فلم يشبعه القيود التي كبته بها الطبيعة ليكون أسير الأرض ، بل جعل يفكر في تحطيم تلك القيود ، فاخترع الطائرة وارتفع بها في

(١) نقرأ في هذا الموضوع من تطورات جدت بعد تأليف الكتاب قام الاستاذ الدكتور سيد رمضان هديفة بكتابة هذا الفصل مجعلا فيه آخر المعلومات عن الأقمار الصناعية .

الجو . لكنه ما لبث أن أدرك أنه لا يمكنه أن يتحرر من سلسله
 بمثل هذه الوسيلة ، فالطائرة يلزمها الهواء لكي يحملها وهي تطير
 ويريد الانسان أن يجوب الفضاء متنقلا من كوكب الى آخر ،
 وهذا الفضاء خلو من الهواء . إذ أن الغلاف الجوى للأرض
 ينتهى عند ارتفاع صغيرة جدا بالنسبة للمسافات الشاسعة
 التى تفصل الكواكب بعضها عن بعض عندئذ اتجه الانسان
 تفكيره الى فاحية أخرى وهي تسيير مركبة فضاء لا تتطلب وسطا
 ماديا (هواء) لتسبح فيه ، فاخترع الصواريخ التى كان لانطلاقها
 دوى هائل فتح عيون العالم على مبلغ قوة المحركات النفاثة
 والمحركات الصاروخية بنوع خاص .

والفكرة الأساسية فى حركة الصواريخ هى رد الفعل ،
 أى قانون نيوتن الثالث للحركة الذى ينص على « لكل فعل رد
 فعل مساو له فى المقدار ومضاد فى الاتجاه » وكذلك قانون بقاء
 كمية التحرك الذى ينص على « كمية تحرك أى مجموعة منعزلة
 ثابتة لا تتغير » فستمد الصواريخ قوة اندفاعها عن طريق طرد
 غازات ساخنة فى صورة تيار شديد الاندفاع ، ويقابل القوة التى
 يندفع بها ذلك التيار رد فعل فى الاتجاه المضاد يدفع الصاروخ
 بسرعة هائلة بحيث تكون كمية تحرك الصاروخ مساوية لكمية
 تحرك الغازات التى انبثقت منه ومضادة لها فى الاتجاه ، وذلك
 لكى تجعل القية النهائية لكمية تحرك المجموعة صفرا كما كانت
 قبل اندفاع الغاز منها . وعلى ذلك فتزداد سرعة الصاروخ كلما
 ازدادت السرعة التى يندفع بها التيار الغازى .

وتتوقف السرعة النهائية للصاروخ عندما يستهلك جميع
 وقوده على عاملين ، أولهما السرعة التى يندفع بها التيار الغازى

وثانيهما النسبة بين وزن الصاروخ عند الاقلاع ووزن ما يتبقى منه عندما ينفذ جميع الوقود ، ويمكن كتابة العلاقة بين هذين العاملين على الصورة التالية :

$$C_n = C_1 \ln \frac{C_0}{C_n}$$

$$\text{أو } \frac{C_0}{C_n} = \frac{C_1}{C_n} = \frac{C_0}{C_1} = 2.718$$

حيث C_n هي السرعة النهائية للصاروخ ، C_1 سرعة اندفاع التيار الغازي ، C_0 الكتلة الابتدائية للصاروخ ، C_n كتلة الصاروخ بعد نفاد جميع الوقود ، ه أساس اللوغاريتم الطبيعي وتساوي ٢.٧١٨ .

فلمضاعفة السرعة النهائية ، اذن ، يلزم ان تضاعف سرعة اندفاع التيار الغازي أو تربع نسبة الكتلة .

وزيادة سرعة اندفاع التيار الغازي من المسائل الكيميائية والحرارية والتعدينية التي يجري فيها البحث الآن وقد أمكن الوصول حتى الآن الى سرعة تبلغ حوالي ٣ كيلو مترات في الثانية وهي قيمة تؤدي الى سرعة نهائية للصاروخ قدرها ٣٥٥ كيلو متر في الثانية اذا كانت كتلة الوقود تبلغ ٨٠٪ من الكتلة الكلية . هذا باهمال تأثير الجاذبية الأرضية ومقاومة الهواء الا أن هذه السرعة لا تكفي لأن يفلت الصاروخ من تأثير الجاذبية الأرضية ، اذ لكي يفلت الصاروخ من هذا المجال يجب أن تبلغ سرعته ١١.٢ من الكيلو متر في الثانية .

وإذا بلغت سرعة الصاروخ خارج الغلاف الجوى الأرضى سرعة الافلات انطلق فى مسير قطع مكافئ وأفلت من مجال الجاذبية الأرضية الى مالا نهاية . أما اذا اكتسب سرعة تتراوح بين ٧٨٩ ، ١١٢٢ من الكيلو متر فى الثانية فى الاتجاه غير العمودى على سطح الأرض وخارج الغلاف الجوى فانه يتبع فى مسيره قطعاً ناقصاً تكون الأرض فى احدى بؤرتيه ، ويستمر فى حركته فى هذا المدار حول الأرض مادام المدار بأجمعه خارج الغلاف الجوى أما اذا بلغت سرعة الصاروخ ٧٨٩ من الكيلو متر فى الثانية دار حول الأرض فى مدار دائرى ، وفى كلتا الحالتين الأخيرتين تواصل القذيفة دورانها فى فلكها حول الأرض وتسمى فى هذه الحالة « قمراً صناعياً » .

ولكى يستمر القمر الصناعى فى دورانه فى فلكه حول الأرض يجب أن يكون المدار بأكمله خارج الغلاف الجوى الأرضى حيث تتقدم مقاومة الهواء أو تكاد ، تلك المقاومة التى تعمل على الاقصاص من سرعته وسحبه نحو الأرض ، وتتوقف الفترة الزمنية التى يمكن أن يقضيها القمر الصناعى فى مداره داخل الغلاف الجوى الأرضى على ارتفاع المدار عن سطح الأرض وكثافة القمر الصناعى ، فالأقمار الأثقل تبقى فى مداراتها مدة أطول . ولتد بيت الحسابات أن الارتفاع اللازم لكى يستمر القمر الصناعى فى دورانه حول الأرض الى ما شاء الله يجب ألا يقل عن ٥٠٠ كيلو متر فى حين أن القمر الصناعى الذى يدور على ارتفاع ٣٢٠ كيلو متراً فوق سطح الأرض يبقى فى مداره خمسة عشر يوماً . أما اذا كان ارتفاع المدار ١٦٠ كيلو متراً بقى القمر الصناعى فى مداره مدة لا تزيد على الساعة .

ومن الممكن حساب السرعة اللازمة لحفظ القمر الصناعي في مداره بسهولة ، الا أنه بالإضافة الى هذه السرعة ، يجب أن يزود الصاروخ بالطاقة الكافية لحمله الى ارتفاع المدار المطلوب ضد مجال الجاذبية الأرضية ، وتتراوح السرعة اللازمة للصواريخ بعيدة المدى بين ٥ و ١٠ كيلو مترات في الثانية ، أما إذا أريد للصاروخ أن يدور حول القمر ويمود الى الأرض فيلزم أن تكون سرعة الانطلاق من الأرض ٢٤ كيلو مترا في الثانية . ولا يمكن الوصول الى هذه السرعة في مرحلة واحدة ، لكن الطريقة المتبعة هي أن يبنى الصاروخ من مجموعة من الصواريخ تنطلق على مراحل فتزداد السرعة في كل مرحلة عن سابقتها وينتهي الأمر بجسم صغير نسبيا (هو الكبسولة التي تحمل الأجهزة أو الركاب) ينطلق بالسرعة المراد الوصول اليها . ومن الضروري في هذه الحالة توقيت المراحل المختلفة توقيتا دقيقا للغاية . أى انه ينبغي حساب اللحظات التي ينطلق فيها الوقود في المراحل المتتابعة من الصاروخ بدقة بالغة . فيجب ان تبدأ المرحلة في نفس اللحظة التي ينفذ فيها وفود المرحلة السابقة بالضبط ، فاذا تقدم الانطلاق عن هذه اللحظة تأخر انفصال الجزء المفروض انفصاله ، اذ لا يكون وقود المرحلة السابقة قد تم تفاده ، ويكون لا يزال فعالا في تزويد الصاروخ بالمعجلة في اتجاه الحركة ، أما اذا تأخر الانطلاق التالى عن تلك اللحظة تسبب ذلك في تناقص السرعة وربما عمل توقف . انطلاق تلك المرحلة نتيجة للقوى التي تنشأ وتعمل على سحب الوقود بعيدا عن متناول المضخات الساحبة له .

وأغلب الأقمار الصناعية التي أطلقت حتى الآن حملت على صواريخ ذات ثلاث مراحل ويمكن حساب النسبة بين كتلة القمر

الصناعى والكتلة الكلية للصاروخ قبل انطلاقه من المعادلة السابقة
 فاذا أردنا ان نكتسب المرحلة الأخيرة فى صاروخ دى ثلاث مراحل
 سرعة نهائية تساوى ثلاثة أضعاف سرعة افلات الغاز (٣ كيلو
 مترات فى الثانية فى احسن الأحوال) لزم أن تكون سرعة الانطلاق
 فى المراحل الثلاثة مساوية لسرعة افلات الغاز وهذا يتطلب طبقا
 للمعادلة السابق ذكرها أن تكون النسبة بين الكتلة الابتدائية
 للمجموعة وكتلة الجزء المتبقى بعد تفاد الوقود فى كل مرحلة
 مساوية ٢,٧٣ : ١ أى انه اذا أريد أن يكون وزن المرحلة الأخيرة
 طنا واحدا فيجب أن تكون كتلة المجموعة فى بداية المرحلة الثالثة
 ٢,٧٣ من الطن وبالتالي تكون كتلة المجموعة فى بداية المرحلة
 الثانية ٧,٤ والكتلة الابتدائية فى بداية المرحلة الأولى ١ و ٢٠
 من الطن ، هذا ويلاحظ اتنا أهملنا فى حسابنا تأثير الجاذبية
 الأرضية ومقاومة الهواء فى احصاء السرعة النهائية ، واخذ هذين
 العاملين فى الاعتبار يزيد من الوزن الابتدائى للمجموعة . وتراوح
 أوزان الأقمار الصناعية التى أطلقت منذ اكتوبر ١٩٥٧
 (سبوتنك ١) حتى الآن بين ١٥ كيلو جرام و ٣٥٠٠ طن
 تقريبا .

ويتوقف زمن دورة القمر الصناعى حول الأرض على سرعته
 وبعده عنها ويمكن حسابه ببساطة فى حالة المدار الدائرى من
 المعادلة .

$$\frac{2\pi r}{c} = T$$

حيث T زمن الدورة ، r بعد المدار عن مركز الأرض ، c
 سرعته الدائرية .

وإذا دار القمر الصناعي في مدار يبعد عن سطح الأرض بمسافة ٣٥٩٠٠ كيلو متر فانه يتم دورته في نفس الزمن الذي تأخذه الأرض في اتمام دورتها حول محورها ، وعلى ذلك فيبدو للراصد على الأرض أنه ثابت في مكانه كأنه مثبت في أعلى برج غير مرئي . ولعلنا ندرك التطبيقات المفيدة لهذا القمر « الساكن » لو تم النجاح في تنفيذه ، فما لا شك فيه انه سوف يفيدنا في الأغراض الملاحية وقد يصلح كمحطة ارسال تليفزيونية اذ ان مدى ارسال التليفزيون يتوقف كما نعلم على ارتفاع هوائي الارسال .

هذا ويمكن أيضا تسير مجموعة من هذه الاقمار وتجميعها في مدارها لتكون محطة فضاء كبيرة تصلح مرصد ومعامل أبحاث تتوفر فيها ظروف لا يمكن الوصول اليها عند سطح الأرض فهناك الحرارة الشديدة والبرودة المطلقة والفراغ التام — تلك الظروف التي طالما تاق الانسان الى توفرها لاستكمال دراساته للظواهر الطبيعية والبيولوجية .

ولجعل القمر الصناعي يدور في مدار ما يجب أن يزود بالسرعة العالية الكافية لجعله يدور في هذا المدار . الذي يجب ان يكون بأكمله خارج الغلاف الجوي اذا أريد أن يبقى القمر الصناعي في هذا المدار . ومن الممكن نظريا أن يكون هذا المدار دائريا والأرض في مركزه أو قطع ناقص والأرض في احدى بؤرتيه ، الا أنه نظرا لصعوبة التوجيه في الوقت الحاضر ، فتوجه الأقمار الصناعية حاليا لتدور في قطاعات ناقصة ولتقد اطلقت الولايات المتحدة الامريكية صاروخها «الصدى» في ١٢ أغسطس ١٩٦٠ في مدار قطع ناقص قريب من الدائرة ذي حضيض (أقرب نقطة على المدار من الأرض) ارتفاعه ١٥٢٠ كيلو مترا وأوج

(أبعد نقطة على المدار من الأرض) على ارتفاع ١٦٨٧ بدورة قدرها ١١٨٣ من الدقيقة .

ولكى يوضع القمر الصناعي في مداره يطلق الصاروخ رأسياً ثم يعدل سيره في أثناء المرحلتين الأولى والثانية ، وعد ما يصل الصاروخ الى أعلى ارتفاع له فوق سطح الأرض تطلق المرحلة الثالثة ليدور في مداره القطع الناقص حول الأرض ، وبالإضافة الى الحركة الانتقالية في المدار يلف القمر الصناعي حول نفسه ليحافظ على استقراره ويقوم بعملية التوجيه مجموعة من الدورات تلقائياً ، فعندما تحس بالخطأ في الاتجاه تقوم بتقويمه ، وتوضع هذه المجموعة في المرحلة الثانية من الصاروخ .

ان الحلم الذي ظل يراود الانسان منذ زمن بعيد بدأ يتحقق ، فلقد طلعت علينا الأنباء منذ شهور قليلة في أوائل عام ١٩٦١ بانطلاق الانسان الى الفضاء ، فانطلق الطيار الروسي يوري جاجارين على متن مركبة الفضاء الروسية فوستك « الشرق » في النصف الأول من ابريل عام ١٩٦١ وازتفع الى حوالى ٣٠٠ كيلو متر فوق سطح الأرض بسرعة تقرب من ٢٩٠٠٠ كيلو متر في الساعة واستغرقت رحلته ١٠٨ دقائق في الفضاء رجع بعدها سالماً الى الأرض ولم يمض على تلك الرحلة أكثر من شهر حتى انطلق الن شبرد الأمريكى في الرحلة البشرية الثانية للفضاء على متن « عطارد » الأمريكى فارتفع الى ما يقرب من ١٨٤ كيلو متراً واستغرقت رحلته أربع عشرة دقيقة هبط بعدها سالماً حيث تلقتة السفن والطائرات في وسط المحيط . ولم يكن لجاجارين أو شبرد أى دور في تسيير المركبات التى امتطيها أو التحكم في حركتها . انما كان يتحكم في حركة المركبتين العدد والآلات التى زودتا بها

وكذلك عبد وآلات المحطات الأرضية، كما اتبع في الصواريخ والأقمار الجديدة التي أطلقتها كل من روسيا وأمريكا في الأعوام الثلاثة السابقة . لكن شبرد وجاردين قدما للعالم بتطوعهما بالقيام برحلتيهما أعظم هدية إذ أثبتا أن السفر إلى الكواكب أو على الأقل جوب الفضاء أصبح حقيقة ولم يعد خيالا يداعب أفكار القصصين .

والجدير في الرحلتين البشريتين الأخيرتين أن الإنسان تمكن من إطلاق سفن الفضاء وأرجاعها ثانية سالمة بمن فيها طبقا لخطة مرسومة . ولقد أجريت عدة تجارب على أرجاع صواريخ صماء إلى الأرض نذكر منها المستكشف الأمريكي رقم ١٤ الذى أطلق في أغسطس عام ١٩٦٠ وبقي يدور في الفضاء زهاء شهر في قطع ناقص ذى حضيض على ارتفاع ١٧٨ كيلو مترا وأوج يبلغ ارتفاعه ٨٠٨ كيلو مترات ثم أعيدت الكبسولة إلى البقعة التى حددت لعودتها في المحيط الهادى . وكذلك سبوتنيك الروسى رقم ٥ الذى أطلق في أغسطس ١٩٦٠ أيضا وبقي يدور في الفضاء ١٠١ من اليوم في قطع ناقص ذى حضيض على ارتفاع ٣٠٦ كيلو مترات وأوج على ارتفاع ٣٩٩ ثم أعيدت الكبسولة إلى الأرض سالمة بعد أن قطعت في رحلتها ٧٠٤٠٠٠ كيلو متر . والفكرة في إعادة القمر الصناعى إلى الأرض مبنية على الأسس الأولية للميكانيكا ، فنحن نعلم أن القمر الصناعى لا يستهلك وقودا في أثناء دورانه في مداره ، فإذا أريد أرجاعه إلى الأرض أخرج عن مداره بفصل الجزء المراد أرجاعه عن المرحلة الصاروخية المعدة لهذا الغرض ، ووجهت حركته نحو الأرض ويكون ذلك بمثابة فرامل يتم عملها مقاومة هواء الغلاف الجوى عند ما تدخل فيه الكبسولة . الا أن المسألة

ليست بالبساطة التي تبدو عليها ، فيجب حساب المسافة التي ينبغي أن تعمل عندها الغرامل بكل دقة ، كما يجب أيضا حساب الموقع التي ينتظر أن تلتقي فيه الكبسولة بالأرض ، ولما كان احتكاك سطح الكبسولة بالهواء الجوي يتسبب في رفع درجة الحرارة الى ما يقرب من ١٠٠٠°م فتزود الكبسولة بأجنحة ذات تصميم خاص تعمل على اقصاء درجة الحرارة الى الحد الأدنى الذي يمكن الوصول اليه في حدود ٥٠٠°م .

ان بزوغ فجر عصر الفضاء لمن المراحل ذات الأهمية القصوى في تاريخ البشرية . فالى جانب تحقيق حلم الانسان بحجوب الفضاء ، يمثل هذا العصر الانتقال بالانسان من مرحلة التخمين والاستنتاج في استكشافه لأسرار الكون الى مرحلة الاعتماد على أجهزة ومعامل تجوب الكون وتبقى في الفضاء طوع أمره ، يستعين بها في اجراء تجاربه وأخذ أرصاده ومعرفة ما حرمة ارتباطه بالأرض من الوصول اليه من أسرار هذا الكون الذي نعيش فيه .

وأهم ما يصبو اليه الانسان أن يصل الى أسرار الطبيعة خاصة ما كان منها متصلا اتصالا وثيقا بحياته اليومية ، فهو يطعم في تسخير الظواهر الطبيعية لتوفر له حياة أفضل ، أو يتمكن من دفع أخطارها ليمش عيشة آمنة . ويأتى التعرف على أسرار الأحوال الجوية في المرتبة الأولى ، اذ أنها تؤثر تأثيرا مباشرا في حياة الأفراد والأمن ، فهي تمنحهم السعادة في أوقات رضاها وتصيبهم بالنكبات في ثورتها وغضبها . وأهم عامل يؤثر في الأحوال الجوية الأرضية هو الاشعاع والجسيمات التي تنبعث من الشمس ، ومن هذه الاشعاعات الأشعة فوق البنفسجية التي

تعمل على تأييد طبقات الجو العليا ، كما تعمل على تكوين طبقة من الأوزون تقينا من الاشعاع وتعمل على امتصاص الهواء الجوى للحرارة . ومن المعتقد أن التغيرات التى تحدث فى طبقة الأوزون هى المسئولة عن تغير الظروف الجوية فى طبقات الجو العليا . وتحتوى الأقمار الصناعية التى أطلقت على أجهزة لقياس شدة الاشعاع وأطوال موجاتها وتغيرها مع الزمن ، وبجميع تلك المعلومات يمكن ايجاد العلاقة بينها وبين الأحوال الجوية على سطح الأرض ، ولقد زودت بعض الأقمار الصناعية بآلات تصوير تليفزيونية أرسلت وما زالت ترسل صورا للتكوينات السحابية ، ويتراكم الآن لدى رجال الأرصاد الجوية بيانات ومعلومات لم تتوفر لهم من قبل ، ويعمل العلماء الآن على تحليل تلك البيانات والاستفادة منها فى التنبؤات الجوية بل ربما أمكنهم الاستفادة منها فى التحكم فى الأحوال الجوية ، ولا يخفى علينا ما لهذا العمل من نتائج بالغة الأهمية لا للأعمال الحربية فحسب بل لحياة أفضل على سطح الأرض .

ويعتقد العلماء الأمريكيون أن الأقمار الصناعية سوف تفيده فى الملاحه فيمكن عن طريقها أن تعين أى سفينة موقعها فى عرض البحر بصرف النظر عن الأحوال الجوية أو صفاء السماء . وتزعم الولايات المتحدة الأمريكية اطلاق أربعة أقمار صناعية تكون جميعها فى أفلاكها قبل عام ١٩٦٢ ، ولقد أرسلت فعلا أول قمر فى هذه المجموعة . ترانسيت ١ - ٥ « فى ابريل عام ١٩٦٠ ، والفرض من هذه المجموعة هو انباء السفن بمواقعها فى عرض المحيط والأساس فى ذلك مبنى على . ظاهرة دوبلر « التى تتسم بها الموجات بجميع أنواعها . فاذا أصدر جسم متحرك موجات

بتردد معين (أو طول موجة) فإن طول الموجة يتغير بالنسبة للراصد الساكن ويتوقف التغير على سرعة المرصد المتحرك واتجاهه ، ولا شك أن الكثير منا قد لاحظ هذه الظاهرة في أثناء وقوفه قرب شريط المسكة الحديدية وسماعه صفارة القاطرة وهي تمر به بسرعة ، اذ يلاحظ انخفاض في نغمة الصفارة عن قيمتها الأصلية . وينطبق نفس الشيء على الموجات اللاسلكية ، فالقمر الصناعي يصدر موجات لاسلكية ترصدها السفن ويحدث تغير مفاجئ في طول الموجة المستقبلية عند عبور القمر الصناعي سمت السفينة ، ولما كان مسيره محسوبا بدقة تامة ، ومكانه معروف في أى لحظة من الملاحظات فيمكن للسفينة أن تحدد موقعها بتعيين لحظة اجتياز القمر الصناعي لسمتها والرجوع الى الجداول والخرائط لمعرفة موقع ذلك القمر من السماء .

وتحمل الأقمار الصناعية فيما تحمل من أجهزة كاشفات للأشعة الكونية ، تلك الجسيمات النووية التي تنهال على الأرض من الفضاء الكوني وتتكاثر وتتفاعل مع ذرات الهواء الجوى . ولقد درس العلماء خصائص هذه الأشعة على سطح الأرض وعلى الارتفاعات التي تمكنوا من الوصول اليها بالبالونات والطائرات . ولكنهم لا يزالون في حيرة من أمر مصدر تلك الأشعة والوسيلة التي تكتسب بها الطاقة الهائلة التي تصلنا بها ، ومن المعتقد أن دراسة تغير شدة الأشعة الكونية في الفضاء مع خطوط العرض قد تؤدي الى زيادة معرفتنا بالمجالات المغنطيسية والكهربية التي تتسارع فيها تلك الجسيمات ومن ثم تؤدي الى معرفة أعمق بالكون .

وعلى الرغم من أن علم الفضاء ما زال في مهده فلقد زدونا في

هذه الفترة القصيرة من عمره بيانات عن الأرض والقضاء صححت
مالدينا من معرفة وأزادت عليه ، فأبنا الصاروخ الأمريكي
خارجارد الأول بما فيه من أجهزة أن الأرض في شكل الكبريتي
ذات بروز يبلغ ارتفاعه ٥٠ قدما عند القطب الشمالي يقابله
انخفاض بنفس العمق عند القطب الجنوبي ، وأن انبعاث الأرض
عند خط الاستواء أقل مما قدره علماء القياسات الأرضية من
قبل . كما أنبأنا أجهزة قياس المغنطيسية التي زود بها أحد
الصواريخ أن مجال المغنطيسية الأرضية يمتد الى حوالي ٩٠٠٠٠
كيلو متر ، أى ضعف المسافة التي قدرت له من قبل .

وليس هناك شك في أن الدافع المباشر لتقدم أبحاث الصواريخ
والقضاء هو الأغراض الحربية سواء كانت للدفاع أو الهجوم ،
فنحن نعلم أن التفكير في الصواريخ بدأ على أنها قذائف موجهة
تطلقها الدولة المحاربة على أهداف أعدائها عن بعد ، وكان لا بد
من التفكير في صد الهجمات الصاروخية أو على الأقل الانذار
بقدمها . ولقد أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية في شهر مايو
١٩٦٠ قمرا صناعيا يزن ألفي كيلو جرام مزودا بأجهزة بلغ
وزنها ١٤٠٠ كيلو جرام ومن أهم مميزات هذا التابع وجود
أجهزة في مقدمته تحس بالأشعة تحت الحمراء فيمكنها أن تكشف
عن مصادر الحرارة غير العادية على الأرض أو في الجو . وعلى
ذلك ففي استطاعة هذه الأجهزة التجسس على الصواريخ المنطلقة
في الجو - بما تبعثه تلك الصواريخ من أشعة حرارية - وإرسال
الانذارات الى محطات المراقبة الأرضية .

ولم يقتصر استكشاف الفضاء على إرسال التوابع الأرضية
فقط بل أرسلت روسيا صاروخها « لوتك رقم ٢ » في سبتمبر

١٩٥٩ لاستكشاف الطريق الى القمر ، فأصابه اصابة مباشرة ثم تبعه « لونك رقم ٣ » في أكتوبر من نفس العام لاستكشاف الجانب الآخر من القمر الذي لا يمكننا رؤيته من الأرض على الإطلاق ، فالتقط صورا لذلك الجانب ، كما أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية عدة صواريخ لم تبلغ القمر لكنها أرسلت معلومات جديدة عن الاشعاعات والتيارات الكهربية في الفضاء حول الأرض فاكشف الصاروخ « المستكشف رقم ٦ » تيارا كهربيا شدته خمسة ملايين من الأمبيرات يسرى حول الأرض على ارتفاع يبلغ حوالي ٤٠٠٠٠ كيلو متر منها .

ولم يقف التسابق في رحلات الفضاء عند حد الوصول الى القمر بل تعداه الى الكواكب الأخرى وأرسلت كل من روسيا وأمريكا توابع للشمس ، فأطلقت روسيا « لونك رقم ٦ » في يناير ١٩٥٩ ليدور حول الشمس في فلك يبعد أوجه عنها ١٢٠ مليون ميل وحضيضه ٩١ أر من مليون ميل ويتم دورته حولها في ٤٤٤ يوما . كما أرسلت أمريكا « الرائد رقم ٤ » في مارس ١٩٥٩ ليدور في فلك حول الشمس يبعد أوجه عنها ١٠٦ أر من مليون ميل وحضيضه ٩١ أر من مليون ميل ويتم دورته في ٣٩٥ يوما ، وفي مارس ١٩٦٠ أرسلت أمريكا « الرائد رقم ٥ » ليدور حول الشمس في فلك يبعد أوجه عنها ٩٢ مليون ميل وحضيضه ٧٤ أر من مليون ميل .

اتنا ما نزال في بداية الطريق ، فرحلتنا جاجارين أو شبرد ماهما الا بمثابة تجربة مركبة جديدة في جزء من ألفي جزء من الطريق الذي ينتظر أن تقطعه ، وان الانسان لينظر بعين كلها الثقة والأمل الى اليوم الذي يصبح فيه السفر الى القمر بل الى المريخ والزهرة مثل السفر الى الاسكندرية أو دمشق ، أما العلماء فيضعون كل

آمالهم في مشروعات المستقبل واستبدال الانسان بمجموعة
الأجهزة والآلات التي يعيشون بها الآن مجساتهم للقضاء اذ لا شك
أن الانسان الراكب متن مجسات القضاء يمكنه بما آتاه الله من
أن تقوم بها الأجهزة الصماء التي لا حياة ولا اتصالات فيها - كما
أن الانسان الراكب متن مجسات القضاء يمكنه بما آتاه الله من
نعمة التفكير والعقل أن يتصرف في المواقف التي لا يمكن لغير
البشر أن يتصرفوا فيها - سيأتي ذلك اليوم وسوف يخرج الناس
أحادي وجماعات من أرضهم الصغيرة وينفذوا من غلاتها الرقيقة
(بالنسبة للابعاد الكونية) ليروا بأنفسهم حقيقة هذا الكون
وضالة أرضهم بالنسبة له .

فهرس

صفحة

٥	مقدمة :
١١	١ - القسم الأول - نشأة الأرض وتكوينها
١٣	أصل الأرض
٣٣	٢ - القسم الثاني - الكرة الصخرية - النواة والغلاف
٣٥	باطن الأرض
٤٩	حرارة الأرض
٦٣	منطيسية الأرض
٧٥	٣ - القسم الثالث - الكرة الصخرية - القشرة
٧٧	شكل الأرض
٨٩	قشرة الأرض
١١٩	أخاديد المحيط الهادى
١٣٥	٤ - القسم الرابع - الغلاف المائى
١٣٧	جبال الجليد
١٤٥	دورات المحيطات
١٥٩	٥ - القسم الخامس - الغلاف الجوى
١٦١	الدورة الجوية
١٧١	الطبقة الجوية المتأينة
١٨٧	الوهج القطبى أو الوميض الجوى
٢٠٢	ظاهرة الصخير
٢١٣	حافة الفضاء - الأقمار الصناعية

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٩٩/١.٢.١

I.S.B.N 977 - 01 - 6312 - 0Gu.



المعرفة حق لكل مواطن وليس للمعرفة سقف ولا حدود
ولاموعد تبدأ عنده أو تنتهى إليه.. هكذا تواصل مكتبة الأسرة
عامها السادس وتستمر فى تقديم أزهار المعرفة للجميع. للطفل -
للشباب - للأسرة كلها. تجربة مصرية خالصة يعم فيضها ويشع
نورها عبر الدنيا ويشهد لها العالم بالخصوصية ومازال الحلم
يخطو ويكبر ويتعاظم ومازالت أحلم بكتاب لكل مواطن ومكتبة
لكل أسرة... وأنى لأرى ثمار هذه التجربة يانعة مزدهرة تشهد بأن
مصر كانت ومازالت وستظل وطن الفكر المتحرر والفن المبدع
والحضارة المتجددة.

سوزان مبارك

